www.sapientia.uji.es | 113




# Tecnología de la comunicación

Francisco López Cantos

# Tecnología de la comunicación

Francisco López Cantos




Departament de Ciències de la Comunicació

■ Codi d'assignatura CA0916

Francisco López Cantos - ISBN: 978-84-16356-62-1 Tecnología de la comunicación - UJI - DOI: http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia113

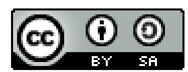
Edita: Publicacions de la Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions
Campus del Riu Sec. Edifici Rectorat i Serveis Centrals. 12071 Castelló de la Plana
http://www.tenda.uji.es e-mail: publicacions@uji.es

Col·lecció Sapientia 113
www.sapientia.uji.es
Primera edició, 2016

ISBN: 978-84-16356-62-1




Publicacions de la Universitat Jaume I és una editorial membre de l'UNE, cosa que en garanteix la difusió de les obres en els àmbits nacional i internacional. www.une.es






*Aquest llibre, de contingut científic, ha estat avaluat per persones expertes externes a la Universitat Jaume I, mitjançant el mètode denominat revisió per iguals, doble cec.*

# ÍNDICE

Tema 1. Historia de las tecnologías de la comunicación ............................
1.1. Contexto histórico para la creación de las industrias de la comunicación. ..........................................................................
1.2. Tecnologías y formación de las industrias de la comunicación ...........
1.3. Consolidación y expansión de las industrias culturales .......................

Tema 2. Tecnología del sonido....................................................................
2.1. Sonido y audición ...................................................................................
2.1.1. La onda sonora ...........................................................................
2.2. La producción profesional de sonido .................................................
2.2.1. La cadena de producción sonora ...............................................
2.2.2. Captación del sonido. Microfonía ..............................................
2.2.3. Mezcla y procesado del sonido ..................................................
2.2.4. Amplificación y monitorización del sonido. Altavoces..............
2.2.5. Soportes y equipos de grabación ...............................................
2.2.6. Producción y postproducción musical.......................................
2.3. Transmisión de sonido. La radio .........................................................
2.3.1. La emisora radiofónica. Estructura básica .................................
2.3.2. Emisión por radiofrecuencia ......................................................

Tema 3. Tecnologías de producción de imagen ..........................................
3.1. Visión, luz y color .................................................................................
3.1.1. Naturaleza de la luz ....................................................................
3.1.2. Visión y percepción ....................................................................
3.1.3. Fuentes de luz..............................................................................
3.2. La imagen digital ...................................................................................
3.2.1. Exploración de la imagen. Sensores CCD y CMOS ........................
3.2.2. Digitalización de imágenes. Soportes de grabación y sistemas de archivo ..................................................................
3.2.3. Características de las cámaras digitales.....................................
3.3. Equipos de producción audiovisual ....................................................
3.3.1. El formato de grabación DVCAM y HDV........................................
3.3.2. Controles básicos de los equipos de captación...........................
3.3.3. Accesorios de iluminación y grabación de sonido .....................
3.3.4. La edición y distribución de vídeo. Final Cut X y Compressor.....
3.4. La señal de vídeo. La televisión...........................................................

Bibliografía básica ........................................................................................

Francisco López Cantos - ISBN: 978-84-16356-62-1 Tecnología de la comunicación - UJI - DOI: http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia113

TEMA 1

# Historia de las tecnologías de la comunicación

Resumen

Este primer apartado del programa está dedicado íntegramente a contextualizar históricamente las tecnologías de la comunicación y a poner en valor su papel en la conformación de las sociedades contemporáneas, con el objetivo de aportar un marco adecuado que permita entender su importancia en la actualidad y en el futuro. Se analiza la estrecha relación existente entre la difusión de las ideas políticas relativas a la liberación de los flujos económicos e informativos y los avances tecnológicos que inauguran la era de las redes de telecomunicación que transforman a nivel global todos los ámbitos socioculturales y económicos.

## 1.1. Contexto histórico para la creación de las industrias de la comunicación

Además de los aspectos netamente tecnológicos, la transformación que se ha producido durante los últimos siglos es el resultado de multitud de factores socioeconómicos y de corrientes ideológicas y culturales que convergen históricamente de manera compleja y pugnan, no siempre de manera pacífica, por imponerse en nuestras sociedades, hoy globalizadas.

Sin intentar abarcar un período que comprende varios siglos en unas pocas líneas, es necesario acotar al menos los factores más relevantes en la transformación de las sociedades medievales a nuestras actuales sociedades contemporáneas. En ello, es imprescindible reseñar la importancia de las ideas divulgadas en cada momento histórico particular, precisamente gracias a los soportes escriptorios. En este sentido, conviene traer a colación las palabras de uno de los responsables de la redacción de *La Enciclopedia*, compendio de todo el saber de la época cuando se publicó, Denis Diderot, quien en 1763 sentenciaba: «Proteja, señor, todas sus fronteras con soldados, ármelos con bayonetas para que rechacen todos los libros peligrosos que se presenten; pero esos libros, disculpe la expresión, pasarán entre sus piernas y saltarán por encima de sus cabezas llegando hasta nosotros» (*Lettre sur le commerce de la librairie*). Estas palabras ejemplifican bien una de las ideas fundamentales de la Ilustración, la consideración del *intercambio*, de la comunicación, como creadores de valores, incluso de valor económico en el sentido que los liberales defenderían en la época como librecambio comercial.

La Ilustración traía consigo la liberación de los flujos comunicativos, es decir, la promoción de la libertad de pensamiento y de opinión. Pero las ideas liberales, también, entendían como necesario para ello el facilitar la movilidad de personas y mercancías y, por tanto, además de promover la libertad de comunicación, el impulso de la ingeniería de caminos, canales y puertos se situaba en el vértice de la nueva estrategia de desarrollo económico y cultural. Se pretendía, en definitiva, unir, vincular y asegurar la fluidez en la circulación de personas y mercancías, un deseo antiguo pero no muy alejado de lo que ha venido promoviendo la Unión Europea en su propia concepción.

Los adalides del liberalismo, Adam Smith y John Stuart Mill, comienzan a establecer los principios económicos del librecambio que permiten el desarrollo de las naciones. Estos principios, sin intentar agotarlos, se podrían resumir en la conformación de un mercado global que facilite la libre circulación de flujos de capital y de personas con alta productividad gracias a la división del trabajo, aboliendo para ello los impuestos sobre el saber para facilitar la generación de conocimiento y la creatividad: sería el sistema de crecimiento más eficiente posible.

Para ello, además, era necesario la normalización internacional de medidas, usos horarios, valores cambiarios, etc., y el desarrollo de infraestructuras comerciales, y redes de comunicación.

Londres a mediados del siglo XIX era el centro mundial de las materias primas, y Estados Unidos solo era una emergente potencia por entonces. En ese sentido, cuando se empezaron a desplegar las redes de telecomunicación por cable, a partir de 1851, los británicos eran la única potencia que disponía de una flota naviera preparada para extender el tendido de cable por todos los confines del Imperio y, además, tenía ya la infraestructura política necesaria para ello. De este modo, el centro financiero de Londres se unió con París en ese año 1851 a través de Calais, en 1866 se inauguró la línea con India a través de Malta y Alejandría, y en 1870 Londres ya estaba conectada vía telegráfica con Australia, China y América del Sur, lo que le permitía reforzar su posición de centro financiero mundial y mantener el control sobre las materias primas de los territorios emergentes. Poco después extendería su red de cable hacia África y, a partir de 1903, cuando Estados Unidos unió por el Pacífico San Francisco con Honolulu y Manila, acabó de conformarse una red de comunicaciones global que permitía la transmisión de información de manera casi inmediata a los centros de decisión de todo el mundo.

## 1.2. Tecnologías y formación de las industrias de la comunicación

Hacia 1901, Marconi inició el desarrollo de las radiocomunicaciones al conseguir transmitir la letra «s» a través del Atlántico. La invención de la radio provocó no pocos enfrentamientos y tensiones internacionales, ya que el bloque socioeconómico centroeuropeo y el anglosajón pugnaban por obtener la supremacía comunicativa, iniciando una carrera que años después se reeditaría en numerosas ocasiones, entre ellas el conocido uso propagandístico de las ondas que se hizo durante la Segunda Guerra Mundial o la posterior carrera por el despliegue de satélites geoestacionarios de telecomunicación, a partir de 1956. Disputas politicotecnológicas que todavía llegan hasta nuestros días con el nuevo sistema de posicionamiento global que se está desarrollando en Europa frente al sistema GPS norteamericano, o la lucha por el control de las redes de internet que se están produciendo entre occidente y oriente en estos últimos años.

El impulso de las tecnologías de la comunicación y las industrias culturales y la pujanza que la cultura anglosajona impuso en todo Occidente estaba fundamentado, en este sentido, en la potencia industrial de que hacía gala el Imperio Británico. Su posición estratégica global se vería reforzada después de dos guerras mundiales que devastaron al resto de países y facilitaron que fueran precisamente los ganadores, los aliados Estados Unidos y Gran Bretaña, quienes reconstruyeran de nuevo la maltrecha civilización occidental a cambio de consolidar, más si cabe, su situación como primeras potencias mundiales. Como resultado de ello, están bajo su influencia todos los organismos internacionales creados a partir de entonces, desde la ONU a la OCDE o el Fondo Monetario Internacional, además de consolidar Londres y Nueva York como el epicentro de los mercados financieros mundiales. Esta supremacía económica y geoestratégica estaba, además, reforzada por la particular expansión de su industria de la información a través de los medios de comu-

nicación escritos, de la prensa, y de sus agencias de publicidad y *marketing*, que pronto situaron delegaciones en lugares estratégicos de Europa y todo Occidente.

Durante el período 1830-1850 se crearon las grandes agencias internacionales de prensa, y hacia 1875 estos grupos se expandieron mundialmente y se empezó a establecer una suerte de reparto de territorios de influencia entre las potencias económicas de la época. De este modo, se creó en 1835 Havas, que luego sería France-Press; en 1849 la alemana agencia Wolf, y en 1851 la británica Reuters. Poco antes, en 1848, se había creado Associated Press y United Press en Estados Unidos y, entre todas ellas, se repartían el control del flujo mundial de información. A saber, Havas se ocupaba de todo el Mediterráneo, Indochina y América Latina; Wolf de Europa Central y Septentrional, y Reuters de todo el Imperio Británico. Oriente Medio era de explotación conjunta, pues todas las grandes potencias tenían intereses en la zona y, aunque las diferentes lenguas de cada bloque económico podían ser una limitación para la expansión del resto de potencias, británicos y norteamericanos empezaron a crear agencias y ediciones en inglés de sus periódicos en Francia y otros países, extendiendo la presencia de la lengua y cultura anglosajona a nivel mundial y reordenando el sistema diplomático internacional existente hasta entonces.

Sobre todo, se intentaba desarrollar sistemas de información comercial, y así empezaron a nacer agencias de calificación que se arrogaban el análisis de las empresas internacionales de cara a los inversores, independientemente de su procedencia, e imponían sus criterios económicos a través de rotativos de información financiera como *Financial Times*, creado en 1888 en Londres, o *The Wall Street Journal*, que comenzó su andadura en 1889 en Nueva York, para atender a los respectivos mercados financieros de uno y otro lado del Atlántico. La agencia de publicidad Walter-Thompson creó en la época delegaciones en Europa y América Latina para *asesorar* a los inversores y empresarios que quisieran exportar o hacer negocios con Estados Unidos, conformando así, en colaboración con las agencias estatales y las embajadas, una tupida red de promoción cultural y control comercial que daría excelentes frutos a lo largo de todas las siguientes décadas, y hasta la actualidad.

De manera simultánea, desde finales del siglo XIX se venía desarrollando sobremanera la industria musical y comenzaba a extenderse el negocio audiovisual desde la popularización del fonógrafo y el cine, inventados, respectivamente, por Edison en 1877 y por Lumière, en 1895. Hacia principios del siglo XX, en 1901, ya se había inventado el disco de 78 revoluciones y un par de años después Enrico Caruso grababa una ópera en directo desde la Scala de Milán, de la que se vendieron más de un millón de copias. En 1908 ya había una industria discográfica anglosajona de ámbito mundial, con fábricas en Calcuta y estudios de producción en Bombay, la Gramophone & Co. En el período 1909-1914 se empieza a crear la potente industria cinematográfica norteamericana de Hollywood como resultado de los cruentos enfrentamientos por las patentes del cinematógrafo, que obligaron a unos pocos independientes a alejarse de Nueva York para evitar así pagar licencias de explotación, y allí se trasladan o crean la mayoría de estudios de producción cinematográfica del país. En Europa, en Francia, los hermanos Pathé junto con

Gaumont también tenían el monopolio de explotación, y junto a las productoras norteamericanas empezaron a expandir la industria de producción cinematográfica en lugares tan remotos entonces como Egipto, México, Brasil, China o India, en una soterrada guerra comercial por el monopolio de la industria audiovisual que duraría años. Las dos guerras mundiales decantarían la balanza a favor de los Estados Unidos frente a Francia, solo con una limitada competencia durante el breve período de entreguerras por la potente UFA alemana que sucumbió ante las pujantes *majors* hollywoodienses, con el terreno abonado para su expansión sobre las cenizas de la devastada Europa después de la Segunda Guerra Mundial. Previamente, alemanes y norteamericanos incluso habían firmado un pacto para repartirse el territorio mundial, pero el ascenso del nazismo y la emigración masiva de fotógrafos y directores de cine a Norteamérica, además del papel de salvadores de Europa que la historia asignó a los aliados angloamericanos, facilitó el desarrollo de la industria cultural norteamericana, con la creación de revistas como *Life* o agencias fotográficas como Magnum, y acabó por convertir Hollywood en el centro de producción mundial de ficción cinematográfica, y permitió a los países anglosajones controlar emisoras radiofónicas de alcance internacional como resultado de la guerra propagandística desplegada contra el avance del nazismo en Europa y, en definitiva, controlar las tecnologías de comunicación que habían surgido, y servido para el impulso, de las complejas transformaciones que se habían venido produciendo desde las últimas décadas del siglo XIX.

La Primera Guerra Mundial sirvió, además, para que la investigación tecnológica en radiocomunicaciones se impulsase sobremanera, así como que se produjeran mejoras importantes en los sistemas de codificación y en la construcción de equipos y redes telefónicas y telegráficas. Acabada la primera confrontación mundial, Estados Unidos ya disponía de dos empresas de telecomunicaciones de enorme tamaño y capacidad de distribución y control comunicativo global, Radio Corporation of America, RCA, y ATT, American Telegraph & Telephone, que se expandiría rápidamente por América del Sur, arrebatando el monopolio de las comunicaciones a los británicos en el continente.

A partir de 1929, la Unión Soviética, ya consolidada como bloque politicoeconómico después de la Revolución de Octubre de 1917, empezó a emitir radio en alemán, francés, inglés y holandés para ampliar su influencia en la Europa capitalista. Poco después, comenzaron las emisiones de Radio Vaticano, en 1931, así como las del régimen nazi alemán, que comienza a emitir en 1933 en inglés y unos años más tarde, en 1936, hasta en 28 idiomas. Es la época en la que se produce un mayor enfrentamiento cultural entre bloques, entre las ideas liberales y comunistas y el incipiente bloque fascista liderado por Hitler, con la connivencia de Mussolini y la aquiescencia del franquismo. Era inevitable la confrontación política en las ondas, y la radio y las tecnologías de la comunicación en general fueron un fructífero campo de experimentación para las estrategias propagandísticas que acabarían por desplegarse en toda su plenitud en la Segunda Gran Guerra. Se intentó un pacto de *no agresión* radiofónica en el seno de la Sociedad de Naciones en 1936, pero resultó inútil, y las emisoras extranjeras ya operaban para entonces en España al inicio de la Guerra Civil, en un escenario político complejo en el que las ideas liberales

norteamericanas justificaban la expansión de la propaganda a través de sus medios de comunicación y sus agencias de publicidad en pro de la libertad de expresión, esgrimiendo las ideas liberales ya comentadas.

La industria automovilística norteamericana, de la mano de la agencia de publicidad Walter-Thompson, diseñó por entonces una estrategia de implantación global que le llevó a abrir delegaciones en Amberes, Madrid, París, Berlín, Montreal, Sao Paulo y otros muchos lugares, y en 1938 se creó en Nueva York la International Advertising Asociation, IAA, que unía las empresas exportables norteamericanas a la industria cinematográfica y publicitaria, con el fin de facilitar su expansión, que se impulsó enormemente una vez finalizada la guerra mundial. Una vez acabada esta, las oficinas de inteligencia norteamericanas, la Office of War Information, OWI, y la Office of Strategic Service, OSS, que habían reclutado eminentes sociólogos y psicólogos, así como personal y relaciones públicas de las agencias de publicidad, empiezan a intensificar sus actividades propagandísticas que, entre otras, acaban en la creación de Voice of America, en 1942, emisora de radio que abanderaría el liberalismo en todo el globo, con emisiones especialmente dirigidas a Europa y al bloque soviético. Más tarde, una vez implantado el Plan Marshall para la reconstrucción de Europa y establecidos los canales de distribución adecuados para la penetración industrial y cultural americana en el continente, se crearían Radio Free Europa, en 1950, y Radio Liberty, en 1953, desde la CIA (cuyo germen eran las agencias creadas durante el período de guerra), dirigidas a los países del Este. Por esos años se estrecharon las relaciones entre la Unión Internacional de Telecomunicaciones y Naciones Unidas, cristalizando así el dominio que ejercía, y practica en la actualidad, la política estadounidense en el flujo comunicativo global y los organismos multilaterales internacionales.

## 1.3. Consolidación y expansión de las industrias culturales

En el contexto de la Guerra Fría, las redes globales de comunicaciones cobraron un impulso inusitado como resultado del enfrentamiento entre el bloque ruso y el americano. La Unión Soviética lanzó el *Sputnik* en el año 1957 y así se inició la carrera espacial, obligando a Estados Unidos, y a su entonces presidente Kennedy, a fundar ese mismo año la NASA (National Aeronautics and Space Agency), que en las siguientes décadas impulsaría el avance de la investigación espacial y el despliegue de satélites de radiocomunicaciones, el primero de ellos el *Early Bird* lanzado en 1965, para empezar a conformar la red INTELSAT, participada por Alemania, Gran Bretaña y Francia, pero de mayoría accionarial estadounidense. Desde los años 50, igualmente, Estados Unidos había empezado a desplegar redes de defensa militar de radares que unían ordenadores, y en 1968 se creó la red ARPANET (Advanced Research Project Agency Network), que conectaba centros de cálculo de universidades y es el origen de la red Internet. Con el soporte en las infraestructuras de redes de comunicaciones, las industrias del entretenimiento se ha continuado expandiendo globalmente, hasta el extremo de que las últimas confrontaciones bélicas han sido, como es por todos conocido, televisadas en directo a nivel mundial por cadenas norteamericanas como CNN.

En definitiva, actualmente disponemos de un sistema planetario de satélites con aplicaciones civiles y militares y una red mundial de ordenadores con capacidad y funcionalidades en franca expansión, impulsados y controlados solo por unos pocos grupos económicos y multimedia transnacionales de propiedad anglosajona, y hoy también japonesa hasta que China e India adquieran mayor relevancia global de la que ya tienen, que funcionan bajo la filosofía de las agencias de publicidad implantando la imagen corporativa y la propia cultura empresarial de los bloques económicos que los impulsan y los gestionan estratégicamente desde el punto de vista geopolítico global.

De esta manera, el flujo del conocimiento y el uso de las infraestructuras de comunicaciones globales está siendo controlado y regulado de manera que facilite los fines geoestratégicos de las potencias propietarias de las redes y la explotación de los resultados registrados en las bases de datos de carácter económico, científico y audiovisual o periodístico que se crean como consecuencia de la actividad comunicativa global, en tanto que aspectos claves en la pugna entre los bloques políticoeconómicos actualmente en liza.

Finalmente, y para concluir, cabe resaltar que la extraordinaria revolución en los sistemas de distribución y almacenamiento de información nos lleva a asumir, tal como se desprendía ya en un informe de investigación elaborado por Nora y Minc en el lejano año 1978 titulado *La informatización de la sociedad*, que tal como se está desarrollando el actual modelo socioeconómico en el entorno de las actuales redes de comunicación digital, «el saber acabará por ser modelado, como ha sucedido siempre, por la información almacenada. Dejar que sean otros, esto es, las bases de datos norteamericanas quienes se encarguen de organizar esta memoria colectiva, contentándose con su utilización, equivale a aceptar una alienación cultural».

Ejemplos de la influencia actual de las tecnologías de la comunicación en todos los ámbitos, desde los más cotidianos y privados hasta los de carácter público, hay y muchos, basta asomarse un poco a la red internet para adivinar fácilmente en qué lugar reside el control sobre el flujo comunicativo de nuestra sociedad digital contemporánea. Una sociedad conformada en torno a las tecnologías de la comunicación y los flujos comunicativos que, en términos acuñados por Armand Mattelart, se caracteriza con las siglas PPII, esto es, es una sociedad de carácter Planetario, en Permanente comunicación que hace uso de signos Inmateriales disponibles de manera Inmediata.

TEMA 2

# Tecnología del sonido


Resumen

En este tema se analizan con detalle los fundamentos científicos del sonido, las características principales de las tecnologías utilizadas para la producción de audio en el ámbito profesional y para la radiodifusión sonora.

En primer lugar, se estudian las propiedades físicas de las ondas sonoras y los procesos psicofísicos que intervienen en la escucha, así como las características tecnológicas de los equipamientos que intervienen en la cadena de producción sonora, desde los equipos de captación de audio, los micrófonos, a los equipamientos de mezcla, procesado y monitorización del sonido. Finalmente, y para concluir, se estudian las tecnologías y equipamientos que hacen posible la radio.

## 2.1. Sonido y audición

El sonido es un fenómeno físico de naturaleza mecánica que se produce como consecuencia de los cambios de presión en el medio, que provocan la vibración de su estructura molecular en determinadas frecuencias que nuestro órgano auditivo puede percibir. Los fenómenos mecánicos de vibración y desplazamiento forman parte intrínseca de la propia naturaleza de la materia pero la inmensa mayoría de ellos se produce de manera imperceptible a nuestros sentidos y, por esta razón, solo podemos considerarlos como sonido cuando estas vibraciones son audibles, es decir, cuando podemos percibirlas.

La percepción del sonido es diferente para cada especie animal y la audición humana tiene características específicas que son el resultado de un largo proceso biológico de adaptación al entorno. Las diferencias de discriminación de estímulos audibles entre distintas especies es muy grande. Baste mencionar, por ejemplo, las limitaciones que nuestra percepción tiene para permitir anticiparnos a un terremoto con la eficacia que lo hacen otros animales, que sí son capaces de percibir las vibraciones que determinan la inminencia de un desastre de tal magnitud. O también, por ejemplo, la habilidad de los perros para oír el sonido de un silbato inaudible para nosotros y acudir a su llamada, de igual manera como consecuencia de la diferente percepción de los estímulos físicos, de las ondas sonoras, en tanto que sonidos audibles.

### 2.1.1. La onda sonora

Para entender cómo se producen los fenómenos ondulatorios resultantes de la presión provocada sobre un medio y el consiguiente desplazamiento de la materia de que está formado, podemos imaginar lo que ocurre en un estanque de aguas calmas cuando rompemos su estado de reposo tirando una piedra en él. De manera inmediata se produce un desplazamiento del agua en todas direcciones alrededor de la piedra en forma de olas sucesivas cuya altura de cresta es proporcional a la magnitud de la perturbación, es decir, a su intensidad, en este caso al peso de la piedra y la fuerza con que es sumergida en el estanque. Lo que estamos provocando, de este modo, es un desplazamiento molecular proporcional a la perturbación producidad en forma de crestas y valles, es decir, en forma de ondas senoidales, que se van sucediendo periódicamente hasta que la energía que provocó la perturbación es absorbida por el medio y el estanque vuelve a quedar en reposo, con las aguas calmadas. De manera similar, podemos imaginar lo que ocurre cuando tomamos el extremo de una cuerda y la agitamos hacia arriba y hacia abajo provocando un desplazamiento regular en forma de onda a lo largo de la cuerda que llega hasta el otro extremo. En ambos casos, estamos ante fenómenos ondulatorios de naturaleza mecánica, es decir, se producen por desplazamiento de partículas materiales que tienen una determinada estructura molecular y están distribuidas por el medio en una determinada densidad. Estas ondas vibratorias portan energía mecánica, debida a la energía cinética que provoca el desplazamiento de sus moléculas, haciendolas chocar con mayor o menor energía con las sucesivas mo-

léculas cercanas que conforman el medio. De esta manera, se transforma la energía cinética en mecánica y, además de la interacción entre moléculas, pueden resultar diversos procesos de transducción en otras formas de energía, y se puede producir, por ejemplo, calor o, con equipos adecuados, electricidad, tal como ocurre en las centrales hidráulicas. En definitiva, la fricción mecánica a nivel molecular provoca diversos efectos fisicoquímicos cuya naturaleza dependerá de las características de los materiales que intervienen en la interacción. Estas variaciones se pueden representar gráficamente como ondas senoidales.

Las ondas mecánicas, en este sentido, se pueden caracterizar, tal como veremos con detalle a continuación, como ondas senoidales de carácter periódico que se definen por su longitud de onda y por su amplitud. Si retomamos el ejemplo del estanque o la cuerda comentados anteriormente, el valor 0 correspondería al estado de reposo y el valor 1 positivo a la cresta de máxima intensidad, mientras que el 1 negativo al valor máximo de la depresión posterior. Si nos situamos en un punto en el eje transversal de visión iríamos viendo pasar algo parecido al gráfico siguiente, con sucesivas crestas y valles, que representan los distintos estados energéticos de la perturbación mecánica producida en la estructura molecular del medio. A partir del *período* de cada onda, es decir, del tiempo que tardamos en ver pasar una sola onda, podríamos calcular el número de ondas que pasan en un segundo, y así tendríamos la *frecuencia*, que se mide en hercios. En cuanto a la *amplitud*, es decir, la altura de la cresta debida a la intensidad de la perturbación, sería simétrica en cada cresta y valle de cada onda específica e iríamos viendo que es menor a medida que se van sucediendo las ondas, es decir, a medida que vamos hacia la derecha del gráfico y se va produciendo la atenuación del fenómeno.

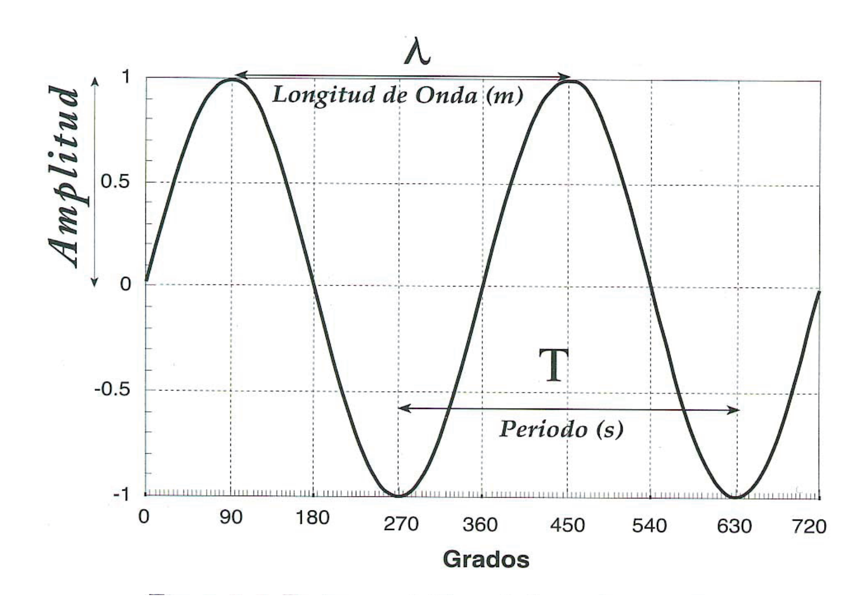



Ilustración 1. Parámetros en onda sonora (Pérez y Zamanillo)

Como podemos observar también en el gráfico, el eje horizontal se subdivide en grados, de manera que cada onda completa comprende un total de 360º. Este modelo de medición se utiliza como referencia para determinar el tipo de interacción

que se produce cuando concurren y mezclan varias perturbaciones producidas de manera simultánea, es decir, para representar la forma en que interaccionan entre sí varias ondas ya que, raramente, los fenómenos son de la sencillez que muestra el gráfico y por lo general forman complejas interacciones basadas en la suma, resta o cancelación de la energía que portan, tal como vemos a continuación. Cuando dos ondas están en fase, es decir empiezan en el mismo punto, suman sus energías formando una única onda con el doble de amplitud pero, cuando no lo están, es decir, cuando están desplazadas en el eje vertical algunos grados, el resultado es otro. Si dos ondas están desfasadas 180º, es decir, la cresta de una de ellas comienza en el valle de la otra, ambas se cancelan pues de su interacción resulta una suma de energías con valor 0.

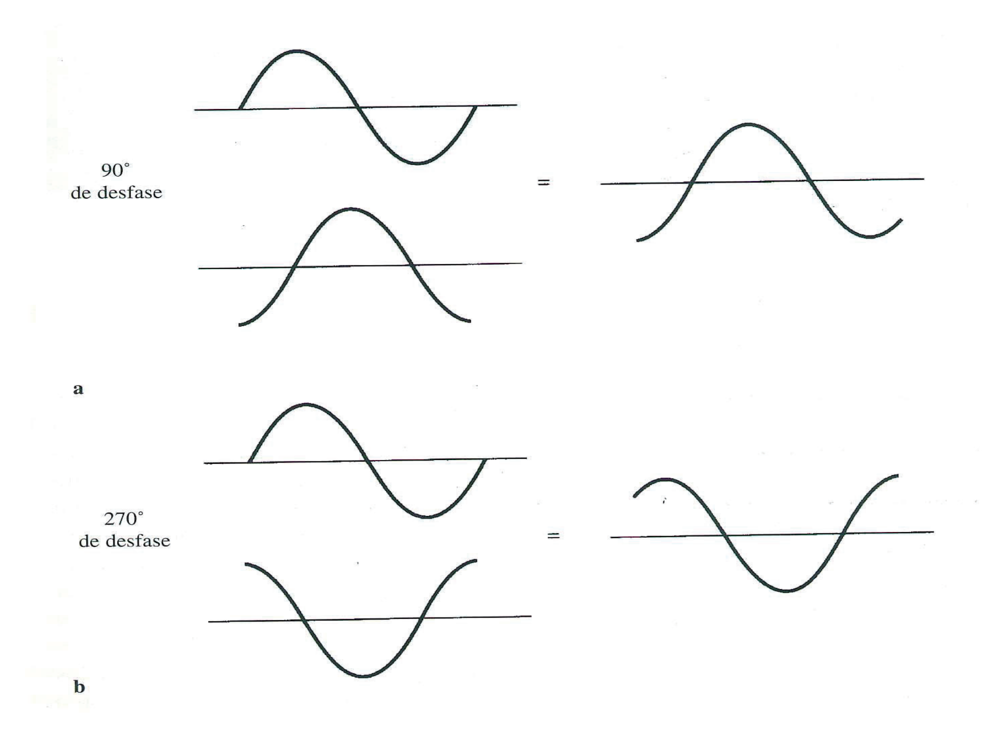



Ilustración 2. Interrelación de ondas (S. R. Alten)

Lo habitual, más allá de esta simpleza que puede ser útil con carácter pedagógico, es que cuando se produce una oscilación vibratoria la energía generada se distribuya en un conjunto complejo de frecuencias e intensidades que, gráficamente, confirman una señal senoidal compuesta en la que se puede determinar la frecuencia fundamental de vibración y, a partir de ella, el conjunto de frecuencias que conforman la señal, pero raramente encontramos ondas simples si no están expresamente producidas en laboratorio con fines experimentales. Cuando estas ondas, siempre complejas, están compuestas por frecuencias que mantienen cierta regularidad, escuchamos entonces sonidos armónicos, y cuando no se da tal circunstancia percibimos la perturbación como un ruido, tal como vemos representado en el caso *d* del gráfico siguiente, el resto de ondas corresponden al sonido de una nota musical en un piano *a*, en un clarinete *b*, y en un oboe *c*, respectivamente.

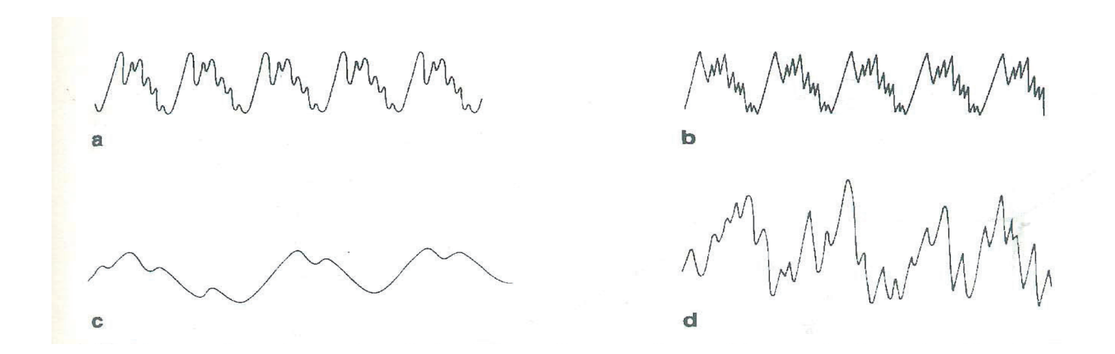



Ilustración 3. Sonidos y ruido

De esta manera, los sonidos que no son ruidos se pueden descomponer en sus *armónicos*, que son frecuencias múltiplos enteros de la frecuencia fundamental que se producen como resultado de la vibración simultánea a esta. Los *armónicos* se denominan segundo, tercero, etc., en función del número de picos de vibración que tengan respecto a la frecuencia fundamental, tal como vemos a continuación, y sus frecuencias sumadas forman ondas complejas como las correspondientes a las diferentes notas de cada instrumento del gráfico anterior, en el que la frecuencia fundamental, aun siendo la misma en todos ellos, da como resultado tonos audibles diferentes a cada nota en función de cada instrumento. Eso es debido, precisamente, a los armónicos específicos que se generan en cada uno de ellos.

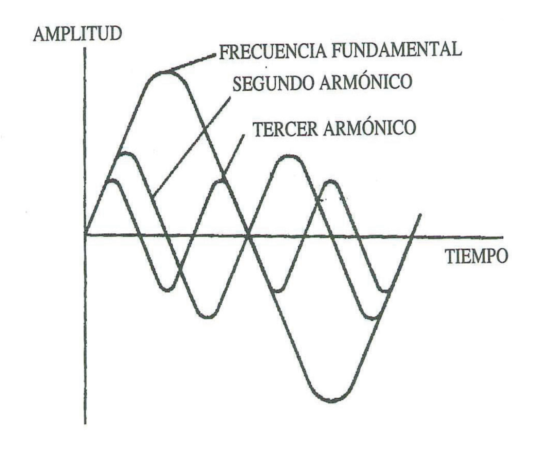



Ilustración 4. Frecuencias de armónicos (S. R. Alten)

Ya hemos adelantado, de este modo, la íntima relación de la frecuencia de vibración con el tono del sonido, al igual que la que tiene la amplitud con la intensidad de la energía, es decir, con el volumen del sonido, aspectos que veremos en el siguiente epígrafe con detalle al tratarse de fenómenos psicofísicos, esto es, dependientes tanto de la percepción como de las características físicas del estímulo.

En definitiva, y desde el punto de vista estrictamente físico, las ondas sonoras las podemos caracterizar atendiendo a su longitud de onda, su frecuencia y su amplitud, teniendo presente que difícilmente encontraremos ondas puras y lo más habitual es que estas sean complejas y estén sujetas a interacciones entre ellas.

Las ondas sonoras, además, y como venimos estudiando, se desplazan a lo largo del medio trasladando la perturbación de manera consecutiva por las moléculas que conforman su estructura material hasta que se atenúa del todo la energía que provocó la perturbación al ser absorbida por el medio. Esto implica que las características estructurales de cada medio serán determinantes en la forma en que se produzca la propagación de la perturbación, es decir, de la onda sonora y, consecuencia de ello, existan variaciones importantes entre distintos medios en lo relativo a la velocidad de propagación y el tiempo que se mantiene la perturbación hasta que se atenúe, tal como vemos a continuación.

| Medio | Velocidad (m/s) | Velocidad Relativa al aire seco a 0°C |
|---|---|---|
| Vacío | No se propaga | — |
| Caucho | 54 | 0,16 |
| Aire seco a 0°C | 331 | 1,00 |
| Aire seco a 20°C | 340 | 1,03 |
| Aire seco a 100°C | 390 | 1,18 |
| Corcho | 500 | 1,51 |
| Agua | 1483 | 4,48 |
| Cobre | 3500 | 10,57 |
| Madera | 3850 | 11,63 |
| Acero | 5060 | 15,29 |

Ilustración 5. Velocidad de propagación sonido en distintos medios (Pérez y Zamanillo)

Cada material, cada medio, como resultado de sus diferencias estructurales, tiene coeficientes de absorción distintos, que también varían en función de cada longitud de onda, es decir, de cada frecuencia, como vemos en la siguiente tabla, en la que se establecen los valores de absorción para una onda sonora estándar, o sea, un sonido que se desplaza en una atmósfera de aire a temperatura de 20 ºC y con una velocidad de propagación normalizada de 340 m/s.

| Materiales | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1,000 Hz | 2,000 Hz | 4,000 Hz |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Losetas de 18 mm de fibra acústica mineral | | | | | | |
| Con posterior rígido | 0,03 | 0,27 | 0,83 | 0,99 | 0,82 | 0,71 |
| Suspendidas | 0,68 | 0,67 | 0,65 | 0,84 | 0,87 | 0,74 |
| Losetas de fibra de vidrio de 25 mm | | | | | | |
| Con posterior rígido | 0,06 | 0,25 | 0,68 | 0,97 | 0,99 | 0,91 |
| Suspendidas | 0,69 | 0,95 | 0,74 | 0,98 | 0,99 | 0,99 |
| Ladrillos | | | | | | |
| Sin esmaltar | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,05 | 0,07 |
| Esmaltados | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| Alfombra, dura | | | | | | |
| En cemento | 0,02 | 0,06 | 0,14 | 0,37 | 0,60 | 0,65 |
| En placas de espuma plástica | 0,08 | 0,24 | 0,57 | 0,69 | 0,71 | 0,73 |
| Bloque de cemento | | | | | | |
| Ordinario, sin recubrimientos | 0,36 | 0,44 | 0,31 | 0,29 | 0,39 | 0,25 |
| Pintado, sellado | 0,10 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,09 | 0,08 |

Ilustración 6. Absorción de distintos materiales a diversas frecuencias (S. R. Alten)

De este modo, como el sonido se desplaza en un medio y, además, está sujeto a procesos de reflexión, refracción y absorción al interaccionar con otros materiales, cuando en cualquier situación percibimos un sonido, lo que llega hasta nosotros es un conjunto de ondas sonoras de gran complejidad que son el resultado de la interacción con el medio y los materiales que lo conforman.

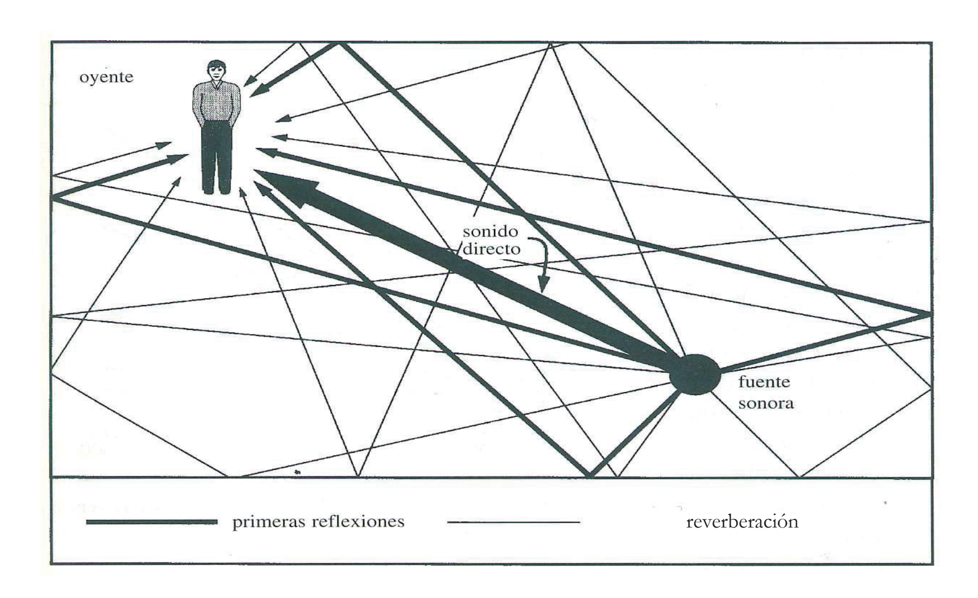
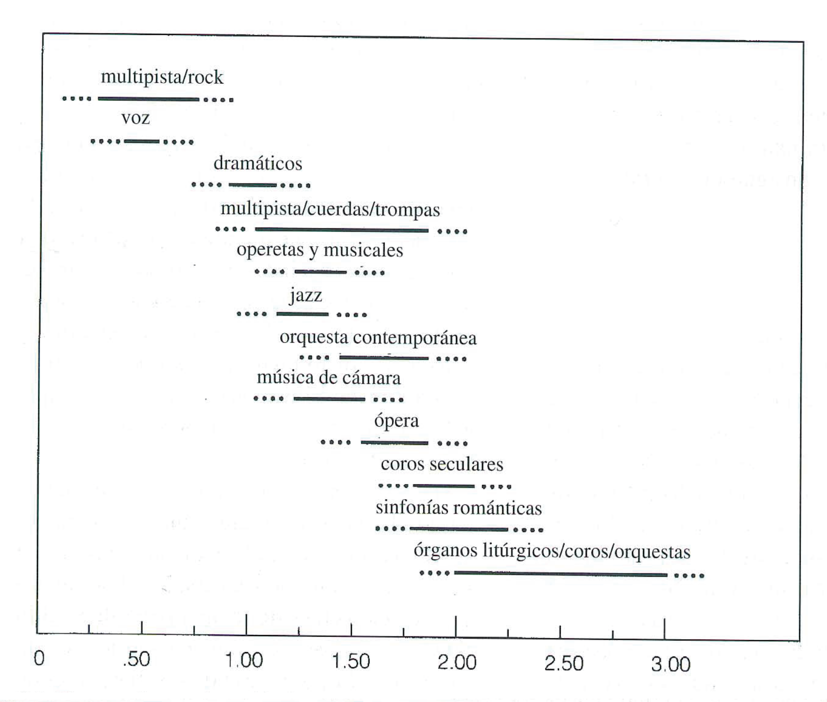



Ilustración 7. Reflexiones de la onda sonora (S. R. Alten)

Para entender la forma de propagación de las ondas sonoras también se ha de tener en cuenta la forma en que se produce su atenuación, sujeta a la ley cuadrada inversa, es decir: a medida que aumentamos al doble la distancia la intensidad disminuye al cuadrado. Sirva como guía siempre que estemos hablando de un teórico único frente de ondas estándar pero que, como explicábamos, suele ser la situación menos común y, por lo general, la forma de propagación y atenuación de las ondas sonoras es más compleja debido a las interacciones entre ondas y con el entorno.

Es interesante no perder de vista que la forma y dimensiones del espacio en el que se producen las ondas sonoras es determinante para dotar al sonido de características propias. Es decir, independientemente de que la fuente emisora sea una u otra, el sonido lo recibiremos de manera distinta en función de su interacción con el entorno antes de llegar hasta nosotros. Si, por ejemplo, somos capaces de escuchar la fuente sonora en el momento de producción del sonido y después, por reflexión, nos vuelve a llegar esa misma onda y el tiempo que separa ambas es mayor de 50 milisegundos percibiremos dos sonidos definidos nítidamente: escucharemos el fenómeno conocido como *eco*. Si, por el contrario, el tiempo que separa la escucha de ambos frentes del mismo sonido es menor a 50 ms no hablamos de *eco* sino de *reverberación* y las diferencias que notaremos en la percepción serán distintas en función del espacio, particularidad que podrá y deberá ser bien aprovechada para emular las condiciones en que se produce la escucha en función de, por ejemplo, el género musical o, simplemente, para sumergir al oyente determinado ambiente sonoro en función del espacio. Por eso mismo, escuchar música litúrgica es más propio en espacios destinados al efecto, como catedrales, y conociendo los tiempos

de reverberación de cada espacio podemos adecuar mejor la escucha a las características sonoras de nuestra producción de audio. Tal como vemos a continuación, distintos instrumentos y espacios musicales tienen tiempos de reverberación característicos diferentes, que van de los 0,5 milisegundos de la voz hasta los más de 2 milisegundos de una orquesta o un órgano que suena en una iglesia.



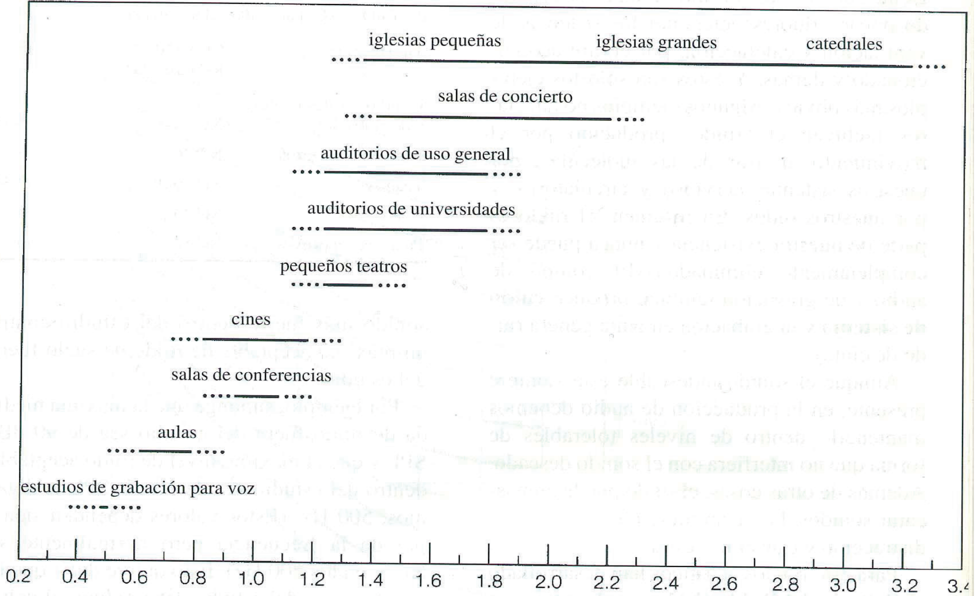




Ilustración 8. Reverberación de distintos espacios (S. R. Alten)

Por tanto, la complejidad de los estímulos físicos que recibirá nuestro órgano sensorial específico para la audición, el oído, tal como veremos a continuación, deberá ser analizada con precisión para permitir que esas perturbaciones provocadas por los cambios de presión ejercidos sobre el medio material se conviertan en sonido y se pueda producir su escucha.

Para poder analizar las ondas de naturaleza mecánica disponemos del órgano auditivo, resultado del peculiar proceso evolutivo que nos es propio y diferente al de otras especies. Nuestra percepción auditiva es consecuencia de la particular forma de funcionamiento de nuestros oídos, cuya estructura física vemos a continuación.

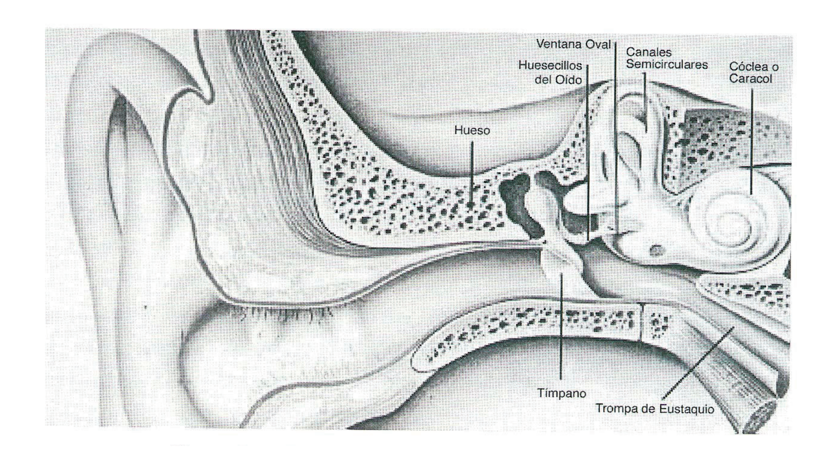



Ilustración 9. Esquema del oído humano (Goldstein)

Como podemos observar, el pabellón auditivo, es decir, la oreja, tiene un diseño específico que permite recoger y direccionar hacia el conducto auditivo las perturbaciones de las moléculas del entorno producidas por las diferencias de presión y dirigirlas hacia el tímpano, en el oído medio. El tímpano es una membrana elástica que recoge las diferencias de presión y las propaga al interior del oído a través de los huesecillos del martillo y el yunque, de manera que se reproduce la vibración en las ventanas de la cóclea, ya en el oído interno, donde se procede a su análisis.

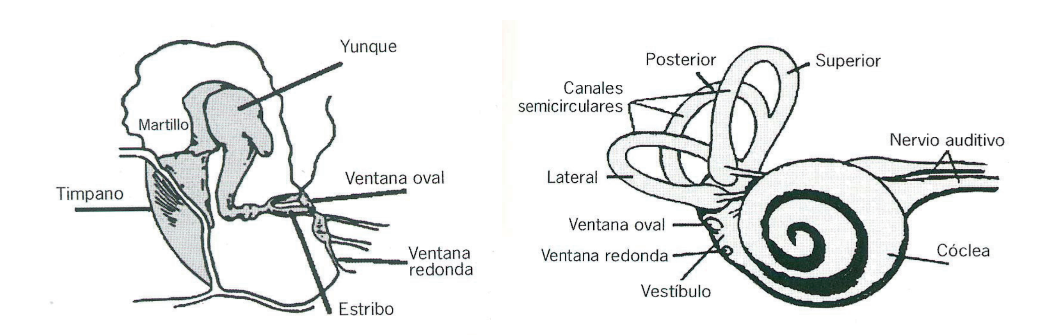



Ilustración 10. Órganos internos de audición (Pérez y Zamanillo)

La estructura de la cóclea, tal como vemos a continuación, está dispuesta de manera que pueda contener un medio líquido, la perilinfa, que recoge las vibraciones producidas por el estribo en la ventana oval y las propaga a través de los canales semicirculares haciéndolas transitar por todo su interior.

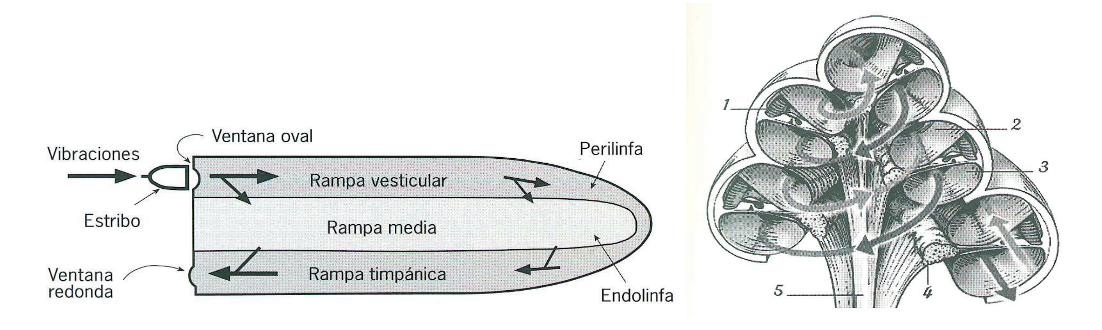



Ilustración 11. Estructura de la cóclea

En el interior de la cóclea o caracol se realiza el análisis de la vibración, convirtiendo la perturbación mecánica en un impulso eléctrico que se transmitirá a través del nervio auditivo hasta el cerebro para su procesamiento. De este modo, el estímulo físico se transforma en energía interpretable por el cerebro, como resultado del análisis realizado en las distintas zonas del interior de la cóclea adaptadas para reaccionar a cada frecuencia de onda particular, gracias a unos minúsulos receptores mecánicos, en forma de pelo, que se contonean generando impulsos eléctricos proporcionales a la intensidad del estímulo y a la frecuencia con se que produce.

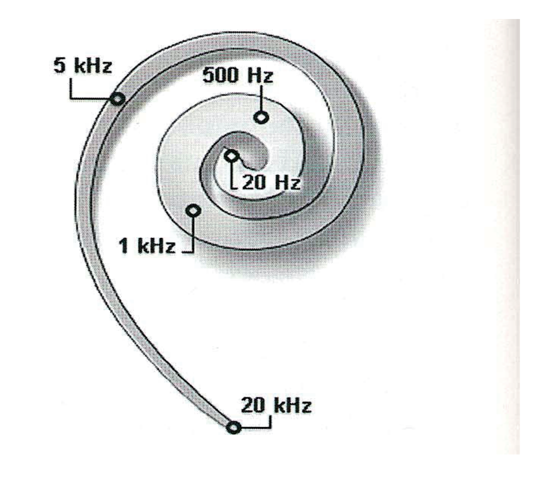



Ilustración 12. Resonancia cóclea ante distintas longitudes de onda

De este modo, y en definitiva, en el oído interno se produce la transducción de energía mecánica en energía eléctrica y su transmisión al cerebro. Además, se realiza otra función de gran importancia en nuestra cotidianeidad, el control del equilibrio, que es posible gracias a la nivelación en ambos oídos de la sustancia líquida contenida en el oído interno, la perilinfa, de modo que las variaciones en su nivel relativo permiten establecer el grado de inclinación del cuerpo de manera precisa y adecuar su posición automáticamente sin que tengamos que realizar ningún esfuerzo ni prestar atención a ello. Este es un acto que pasa inadvertido a nuestra consciencia pero cuya vital importancia resulta evidente, sobre todo cuando presenta deficiencias de funcionamiento como resultado de lesiones en el oído interno y nos vemos obligados a realizar de manera consciente una operación tan cotidiana y tan automatizada cuyo mal funcionamiento convierte el caminar en un desafío constante que necesita corrección a cada paso para poder mantener el equilibrio y no caer al suelo.

En el oído se pueden producir también otro tipo de lesiones que pueden provocar la pérdida de audición total o parcial, afectando solo a determinadas frecuencias, aunque el propio envejecimiento del órgano ya provoca en mayor o menor medida cierta disminución en la capacidad auditiva. En el caso de lesiones, pueden estar localizadas en el interior del oído en algunas ocasiones como consecuencia, por ejemplo, de una infección no tratada de manera adecuada, o, más comúnmente, afectar a la elasticidad del tímpano, provocando pérdidas leves de audición, un problema inevitable con la edad, o pérdidas de audición severas en el caso de rotura del tímpano por exposición a ondas sonoras de gran intensidad.

Con nuestros oídos, en condiciones óptimas, podemos escuchar un rango de frecuencias sonoras que está comprendido entre los 20 Hz y 20 Khz, es decir, ondas sonoras que se producen con una frecuencia de oscilación de entre 20 y 20.000 veces por segundo. O lo que es lo mismo, en el caso de que se propaguen a través del aire a una velocidad de 340 m/s, las diferencias de presión resultarían en forma de ondas de una longitud comprendida entre los 17 metros y los 17 milímetros. Es decir, cualquier perturbación sobre un medio físico que produzca ese intervalo de frecuencias mecánicas es susceptible de ser registrado por nuestros oídos, pues nuestra audición abarca un espacio sonoro tal como el que vemos a continuación.

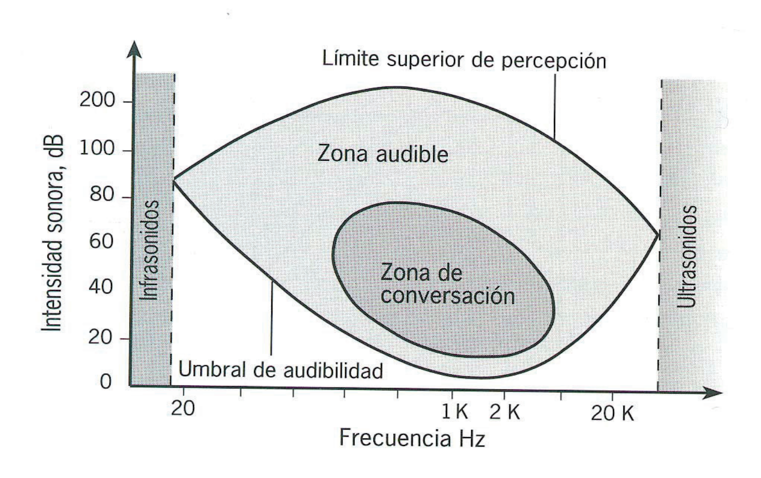



Ilustración 13. Espacio auditivo (Pérez y Zamanillo)

Como se puede observar, la percepción sonora es diferente para cada una de las frecuencias audibles, de manera que el oído no ofrece una respuesta lineal en función de la intensidad de la onda en cada frecuencia. Es decir, oímos mejor las frecuencias medias que los graves y los agudos, particularidad que se puede explicar en relación con los procesos adaptativos de audición a lo largo de la evolución. La voz humana, y por tanto la comunicación verbal, se produce en el rango de frecuencias que oscila, aproximadamente, entre los 300 Hz y los 5 Khz, es decir las frecuencias medias del espectro audible, y no es extraño que estemos mejor adaptados evolutivamente a ellas, ya que los procesos comunicativos orales son el pilar básico para la interacción grupal y el desarrollo socioeconómico y cultural.

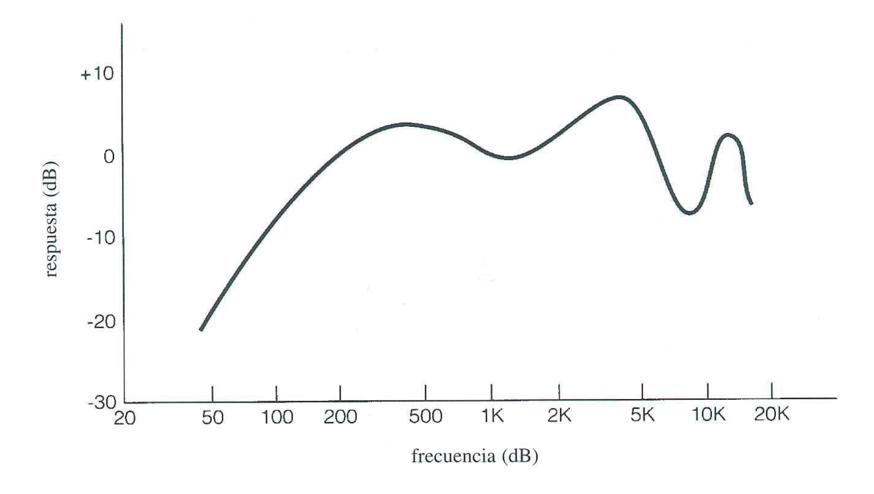



Ilustración 14. Escucha humana (S. R. Alten)

Para que cualquier sonido sea percibido por nuestro órgano auditivo, en todo caso, debe tener una intensidad mínima, cuyo valor se expresa en decibelios (dB) como vemos en los gráficos anteriores. Y, como es fácil adivinar, si esta es demasiado alta puede provocar lesiones de gravedad que pueden afectar temporal o definitivamente a la audición. Los límites máximos de intensidad admisibles por nuestro organo auditivo se encuentran alrededor de los 130-140 dB, a partir los cuales se pueden producir daños irreversibles en el oído, aunque sus efectos serán diferentes en función de las frecuencias sonoras, siendo menos admisibles los aumentos de intensidad en las altas y, sobre todo, en las bajas frecuencias.

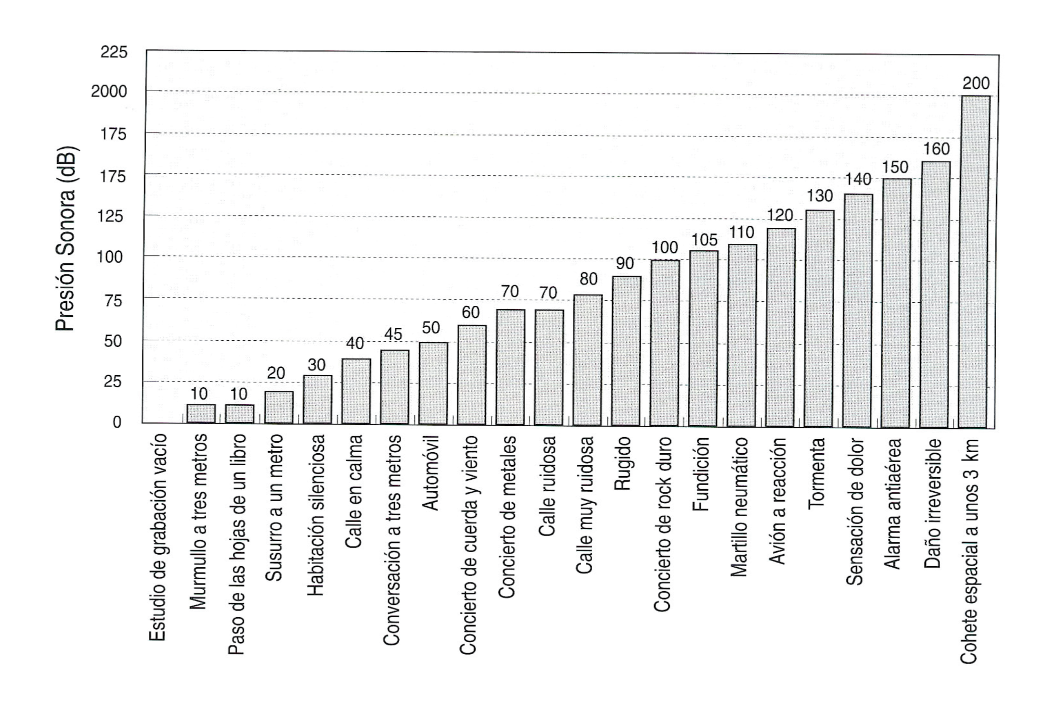



Ilustración 15. Intensidad sonora de distintas fuentes (S. R. Alten)

En todo caso, la causa más común de pérdida de audición es debida al inevitable envejecimiento del oído que se produce con la edad, aunque también existen diferencias importantes entre sexos, tal como muestra el gráfico que vemos a continuación.

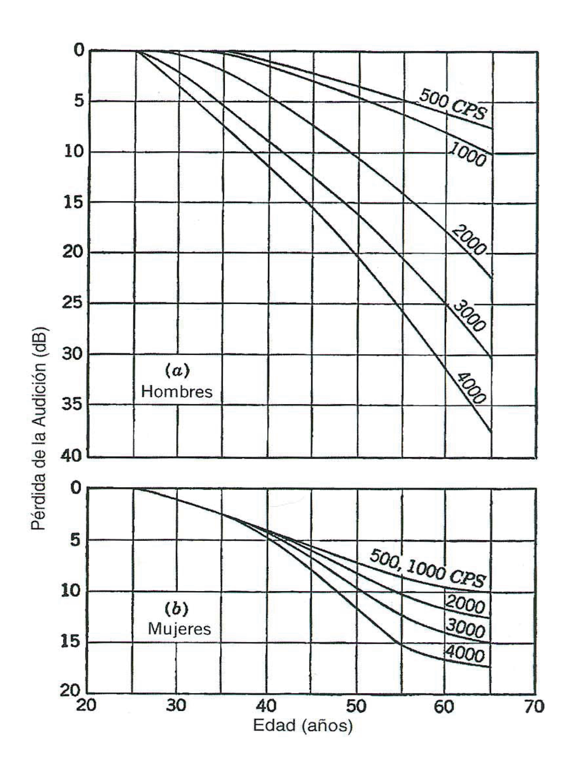



Ilustración 16. Diferencias auditivas de género y edad (Pérez y Zamanillo)

De esta manera, y a efectos de utilizar de manera adecuada la terminología de uso común en el ámbito de la producción de sonido, usaremos en primero lugar los dB para determinar la intensidad de la señal, es decir el *volumen*, y, en segundo lugar, los Hz, que ya explicamos más arriba, para hablar de la frecuencia de la onda sonora, es decir de su *tono*. A efectos musicales, el rango de frecuencias audibles se divide en *octavas*, de manera que cada grupo de notas en sucesivas octavas mantiene una relación 2 a 1 con la anterior, lo cual, a efectos prácticos, permite denominar las mismas notas con tonos más graves o más agudos en función de la octava en que se produzcan. Por ejemplo, la nota La en la quinta octava corresponde a la frecuencia de 440 Hz, mientras que en la sexta corresponde a 880 Hz.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1ª octava | 16 - 32 (Hz) | 7ª octava | 1000 - 2000 (Hz) |
| 2ª octava | 32 - 64 (Hz) | 8ª octava | 2000 - 4000 (Hz) |
| 3ª octava | 64 - 125 (Hz) | 9ª octava | 4000 - 8000 (Hz) |
| 4ª octava | 125 - 250 (Hz) | 10ª octava | 8000 - 16000 (Hz) |
| 5ª octava | 250 - 500 (Hz) | 11ª octava | 16000 - 32000 (Hz) |
| 6ª octava | 500 - 1000 (Hz) | | |

Ilustración 17. Distribución del espectro sonoro en octavas (S. R. Alten)

La tercera variable con que se caracteriza cualquier sonido, además del volumen y el tono, es el *timbre*, que, como ya dijimos, es el resultado de la mezcla compleja

de armónicos en cada señal. El timbre nos permite diferenciar el sonido que producen distintos instrumentos musicales, incluida la voz.

Es también necesario entender la forma en que se produce un sonido cualquiera, es decir, su envolvente, para establecer las diferentes cualidades de cada uno de ellos, o lo que es lo mismo, conocer su período de ataque, extinción, sostenido y caída, tal como se muestra en el gráfico a continuación. Así, se puede distinguir entre un instrumento de ataque inmediato e intenso como puede ser cualquier instrumento de percusión y otros de envolvente totalmente diferente en lo relativo al ataque y la extinción del sonido, como puede ser cualquier instrumento de viento.

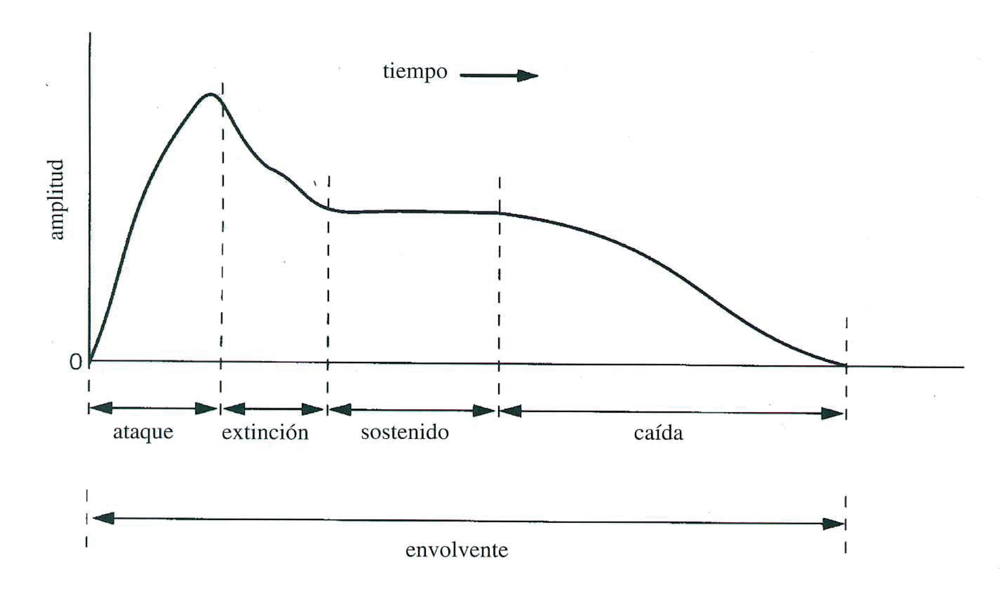



Ilustración 18. Envolvente sonora (S. R. Alten)

Con todo ello, y en definitiva, podemos establecer las características básicas de las ondas sonoras y entender los procesos perceptivos de audición, lo cual nos permite conocer la complejidad de un proceso de naturaleza psicofísica. Podemos imaginar que cuando producimos estímulos sonoros tendremos, de algún modo, que *equilibrar*, o *ecualizar*, las diferentes intensidades de cada frecuencia para que el sonido global se adecue a nuestra percepción, ya que no todas las frecuencias se perciben igual a igual intensidad. De similar manera, las diferentes envolventes de un sonido de cada instrumento obligará a utilizar equipamientos para su captación de características estructurales específicas que permitan su registro. Para una grabación de percusión será necesario un micrófono que responda ante estímulos de gran intensidad y muy bruscos en su inicio, como son los golpes secos en el tambor, por ejemplo, pero para un instrumento de viento no será necesaria esa reacción extrema y será más adecuado un micrófono que mantenga su respuesta de manera estable ante estímulos cuyo período de ataque es mucho mayor y que tardan mucho más en extinguirse.

Una última característica que conviene resaltar es la derivada de la particular disposición en un par simétrico de nuestro órgano auditivo, de manera que a cada lado de la cabeza disponemos de un pabellón auditivo, unas orejas, y un oído que

envía estímulos de manera autónoma al cerebro, órgano en el que se interpreta la mezcla de las señales procedentes de cada uno de ellos, dando lugar a la percepción completa del estímulo sonoro. La lógica diferencia en cuanto a tiempo e intensidad del estímulo que llega a cada oído nos permite localizarlo espacialmente y, con ello, nuestra audición se realiza de manera estereofónica, característica fácil de imitar en los equipos creados para la audición en estéreo, u otros sistemas de localización espacial del sonido que estudiaremos más adelante.

## 2.2. La producción profesional de sonido

Aunque existen multitud de artefactos e instrumentos con los que podemos generar sonido y música sin mas mediación, en el ámbito de la producción sonora es habitual que sea necesario transformar la energía mecánica en energía eléctrica para poder capturarla, manipularla, registrarla y reproducirla con facilidad y trascender, de este modo, las limitaciones espaciotemporales que impone la escucha directa y nuestra naturaleza humana. Es decir, el uso de nuestro aparato fonador, la voz, y de cualesquiera artilugios que podamos inventar para producir sonido, está limitado a que la escucha se produzca en el momento de la producción del sonido y se circunscriba a un tiempo y un espacio específico, de manera que más allá de esa inmediatez no sería posible escuchar sonidos que se generaron en otro momento o lugar si no se dispusiera de equipamientos de producción sonora que utilicen tecnologías de grabación, manipulación, registro y distribución de audio.

Estos sistemas de producción sonora utilizan transductores de energía mecánica en eléctrica, tales como los micrófonos que, como veremos, convierten las diferencias de presión sonora en diferencias de voltaje, otros equipamientos eléctrico-electrónicos para la manipulación y tratamiento de la señal, y transductores inversos para la monitorización, como son los altavoces, que convierten la energía eléctrica en diferencias de presión sonora. Estas transducciones se realizan de manera analógica; es decir, si comparamos la curva senoidal de la onda sonora captada o monitorizada y de la onda eléctrica, ambas son similares, pues recogen en su amplitud a lo largo del eje vertical el valor de intensidad sonora o eléctrica de manera proporcional a como se produjo. Para el tratamiento de la señal, como veremos un poco más adelante, se utilizan equipamientos electrónicos, ordenadores, en los que se manipula y registra la señal eléctrica digitalmente.

En el ámbito profesional de producción sonora con equipos analógicos que funcionan con energía eléctrica, los decibelios relativos a la presión sonora que explicábamos (dB SPL o Sound Presure Level), se han de adecuar a un nuevo valor de referencia, y no al umbral mínimo de audibilidad como aquellos, y, de este modo y por ello, se utilizan otras magnitudes entre las que se encuentran los dBV, en los que el nivel de referencia corresponde a 1 voltio, y los dBu o dBv, en los que el valor de referencia son 0,775 voltios, siendo distinta la denominación elegida para el entorno europeo y el norteamericano, respectivamente.

Cuando se trata de calcular el valor en dB-SPL de diferencias de potencia eléctrica se utiliza la fórmula dB = 10 log ($P_1/P_2$), es decir, entre una potencia de 1 W, un watio, y una de 2 W, dos watios, hay una diferencia de 3 dB-SPL. Cuando se han de comparar dos voltajes de, por ejemplo, 1 y 2 voltios, al estar la potencia relacionada con el cuadrado del voltaje según la Ley de Ohm $W = V^2/R$, esto es, potencia = voltaje al cuadrado partido por resistencia, el dB será dB = 20log ($V_1/V_2$) y, por lo tanto, entre 1 voltio y 2 voltios habrá una diferencia de 6 dB. Es decir, cada vez que doblemos la potencia eléctrica aumentaremos en 3 dB-SPL la intensidad sonora de la señal de audio, y cada vez que doblemos el voltaje este aumento será de 6 dB, razón por la cual en los equipos de sonido profesionalres veremos de manera habitual que los reguladores de volumen están calibrados en pasos de 3 o 6 dB, de manera que cada vez que se incrementa en esas cifras la señal se aumenta al doble la intensidad sonora. Si ese aumento lo dibujamos sobre el gráfico que representa la forma de onda veríamos que su amplitud, su altura en el eje vertical, aumentaría proporcionalmente. A nivel profesional, para monitorizar el valor de la señal se utilizan equipos específicos de medida de la señal eléctrica que se denominan *osciloscopios*, cuya función no es otra que representar electrónicamente de manera visual la forma de onda del sonido en el eje temporal en el que se produce y permitir medir sus valores eléctricos.

### 2.2.1. La cadena de producción sonora

Los primeros equipamientos para la producción de sonido que se diseñaron, a finales del siglo XIX, eran completamente mecánicos y consistían en sistemas de grabación y reproducción basados en el trazado de una aguja por la superficie de una lámina de hojalata sobre la habían realizado surcos de distinta profundidad, como en el caso del *fonógrafo* inventado por Edison; o sobre las desviaciones laterales de los surcos realizados sobre un cilindro de cera, tal como hacía el *gramófono* desarrollado por Berliner. Para reproducir el sonido se situaba la aguja encima del disco de hojalata o el cilindro de cera y este se hacía girar a una determinada velocidad, la misma que la de grabación, lo cual generaba oscilaciones en la aguja que se transmitían a la membrana de una bocina que al vibrar producía desplazamientos moleculares en el aire del interior y, así, producía sonidos en un rango de frecuencias que, aunque limitado, permitía la audición. Entre las dos tecnologías se impuso inicialmente el gramófono por una cuestión de economía práctica ya que, al utilizar cilindros de cera, se podían hacer copias a gran escala de manera sencilla, iniciando así la industria de producción musical, con las primeras grabaciones de duración máxima en la época de 4 minutos.

Ya a partir de los años 20 del siglo pasado se empezó a utilizar la grabación eléctrica, que aprovechaba las propiedades de los transductores electromagnéticos para, situando una membrana móvil conectada a un solenoide en el interior del campo electromagnético de un imán, producir una corriente eléctrica proporcional al desplazamiento de esa membrana. De este modo, se podía desplazar la aguja de grabación sobre los discos o cilindros y producir un surco proporcional a la intensidad de la presión producida en la membrana, ya convertida en diferencia

de voltaje, con un funcionamiento similar al que veremos en el epígrafe siguiente cuando estudiemos los micrófonos de bobina móvil, basados en este mismo principio físico. Además de sistemas de grabación con micrófonos eléctricos en cuyo extremo el sonido se registraba en nuevos soportes en disco, que se iban a acabar por imponer a los clásicos cilindros, también se idearon altavoces que funcionaban con el mismo sistema pero haciendo la transducción inversa. Una de las mayores dificultades del sistema residía en que la señal eléctrica se atenúa sobremanera en función de la distancia debido a la resistencia que ofrecen los cables, que depende, como en cualquier material conductor, de su estructura molecular y de su sección (siendo mayor la resistencia a medida que disminuye la sección, como si del estrechamiento de una tubería se tratara) y, por ello, se comenzaron a desarrollar equipos intermedios de amplificación eléctrica que permitiesen transportar la señal sin excesiva degradación.

Más adelante, alrededor de los años 50 y principios de los 60 del siglo pasado, se comenzaron a investigar y desarrollar nuevos sistemas de grabación en cinta magnética y se empezó a utilizar discos de vinilo, y se comenzaron a construir equipos de mezcla y tratamiento de la señal tecnológicamente mucho más precisos que ofrecían posibilidades de trabajo multipista. De este modo, se dio un impulso enorme a la industria de grabación musical, que se producía de manera simultánea a la popularización y renovación de los gustos musicales que imponían las nuevas corrientes culturales y sociales a mediados de la década de 1960, que dio como resultado que la industria del entretenimiento se impulsara sobremanera.

A partir de entonces, y con carácter genérico, podemos entender la producción de sonido atendiendo al siguiente esquema funcional, en el que podemos observar los diferentes módulos de entrada, tratamiento y salida que conforman cualquier sistema de producción y distribución profesional de audio.

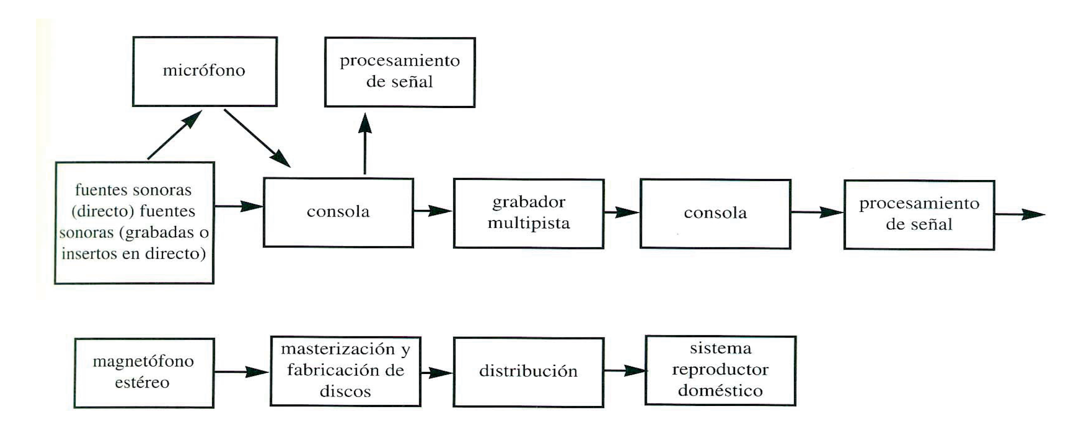



Ilustración 19. Esquema del sistema de producción y distribución de audio (S. R. Alten)

En la actualidad, se ha impuesto con fuerza la tecnología digital, al igual que en el resto de áreas de producción audiovisual, y se ha transformado la cadena de grabación y distribución sonora clásica, sustituyendo muchos de los equipamientos utilizados para el tratamiento de sonido por equipos electrónicos digitales o por programas que operan sobre potentes plataformas informáticas. Hoy

en día, es cada vez más habitual el uso de estudios virtuales que solo mantienen en los extremos de entrada/salida del sistema los equipos de microfonía y de monitorización que, de manera inevitable, han de hacer el papel de transductores analógicos de energía mecánica en eléctrica, y viceversa, independientemente de que esta energía eléctrica se digitalice, tal como ocurre en cualquier otro proceso de digitalización.

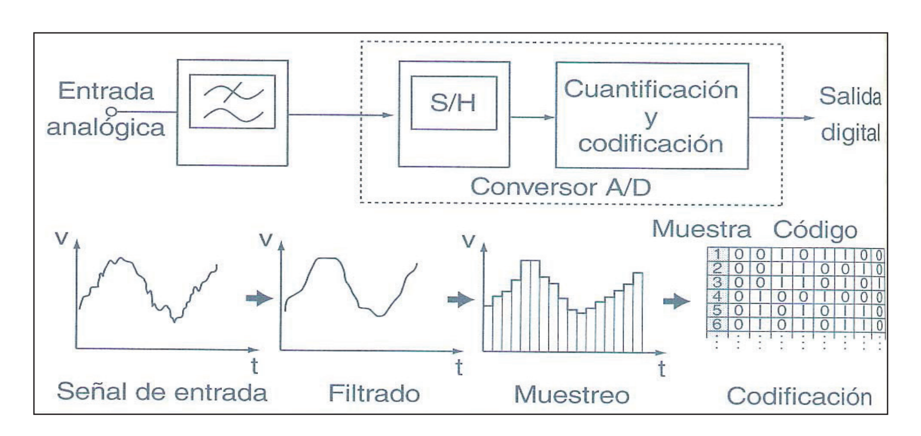



Ilustración 20. Conversión analógica/digital (E. Moreno)

En definitiva, las tecnologías con que funcionan los equipos de producción profesional de sonido que vamos a ver a continuación están basadas en la electricidad y en la electrónica y lo más frecuente es que, siempre que sea posible, encontremos programas informáticos que emulen su funcionamiento. Los equipos de mezcla y tratamiento de la señal trabajan, en su mayoría, con señal digital, aunque su operación no se realice en muchas ocasiones desde la pantalla del ordenador y se manipulen los parámetros de la señal con equipamientos y controles manuales de aspecto analógico convencional, internamente los procesos son íntegramente digitales.

## 2.2.2. Captación del sonido. Microfonía

Los equipamientos que se sitúan en el inicio de la cadena de producción sonora son los micrófonos que, de manera sencilla, podemos definir como transductores acusticoeléctricos, es decir, equipos cuya misión es convertir las ondas sonoras en impulsos eléctricos análogos. Existen varios tipos de micrófonos según la forma en que realizan esta conversión, entre los que encontramos aquellos que utilizan el movimiento de una bobina móvil en el interior de un campo magnético, otros que usan la variación de la capacitancia de un condensador, u otros que utilizan una placa cargada eléctricamente para registrar diferencias de voltaje en función de la señal sonora.

El primero de los tipos de micrófono, llamado *dinámico* o de *bobina móvil*, está basado en la intensidad eléctrica que se produce como resultado del movimiento que se provoca sobre una membrana que registra las diferencias de presión, y a la que hay adherido un conductor eléctrico que se desplaza a lo largo de un campo magnético

para, de este modo, generar una señal eléctrica en una bobina conductora, que es el resultado de aquel movimiento mecánico, tal como vemos a continuación.

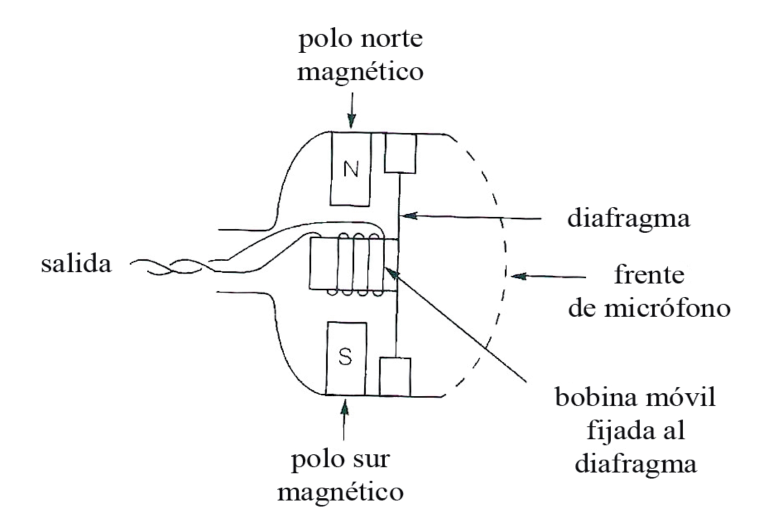



Ilustración 21. Micrófono de bobina móvil (S. R. Alten)

Los *micrófonos de condensador*, por su parte, funcionan con un principio distinto. Se monta una placa conductora fija separada por un espacio de una membrana móvil de material conductor que al desplazarse sobre esta cambia la capacitancia; es decir, la carga eléctrica del condensador, de manera proporcional al movimiento, al estrechamiento, que se ha producido entre la placa conductora y la membrana, tal como vemos a continuación. Se necesita alimentar constantemente el condensador mientras el micrófono está operativo, alimentación denominada técnicamente *phantom* y que debemos activar cuando conectamos a los equipos de audio micrófonos de este tipo.

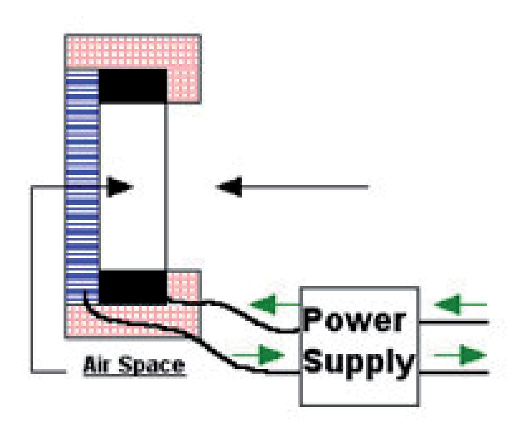



Ilustración 22. Micrófono de condensador

El tercero de los tipos de micrófonos más habituales en el ámbito de la producción profesional de sonido es el denominado *electrect*, utilizado en muchas ocasiones por su ligereza y reducido tamaño como micrófono de corbata, y que funciona con el mismo principio que el de condensador con la diferencia de que no necesita alimentación, puesto que ya está polarizado permanentemente en la denominada placa *electrect*, a la que debe su nombre.

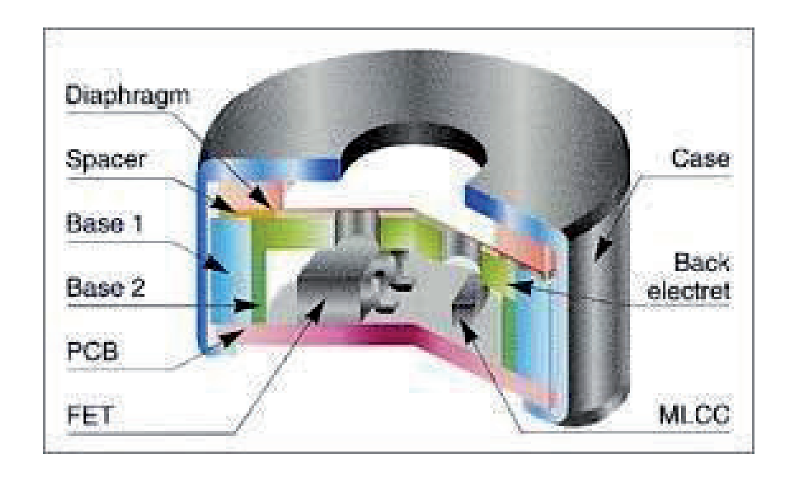



Ilustración 23. Micrófono electret

La forma de construcción de los micrófonos y la tecnología de captación que utilizan influye sobremanera en su fidelidad para el registro del sonido. En general, los micrófonos de condensador con alimentación externa suelen tener una respuesta más lineal en todo el rango de frecuencias y mayor sensibilidad ante sonidos débiles y responden mejor ante sonidos no bruscos. Por el contrario, los micrófonos dinámicos tienen mejor respuesta ante sonidos contundentes con cortos períodos de ataque y rápidas alteraciones en la dinámica del sonido. No obstante, y como es fácil imaginar, con los micrófonos ocurre exactamente igual que con el resto de equipos de captación de estímulos, en este caso sonidos, y todo ello depende de las características estructurales y de los materiales de que están construidos. Dos micrófonos de bobina móvil, por ejemplo, que tengan membranas cuya elasticidad sea diferente no captarán de igual manera el mismo sonido y existirán significativas variaciones en su respuesta a determinadas frecuencias que los harán diferentes, a pesar de utilizar los mismos principios tecnológicos en su concepción.

Cabe reseñar que en los micrófonos de bobina móvil, muy comunes para el registro vocal en conciertos directos, se produce una distorsión de graves, conocida como *efecto de proximidad*, que suele ser muy utilizada para dar más profundidad y mayor presencia vocal a la interpretación, y que sirve bien de ejemplo de la particular y característica respuesta que ofrecen este tipo de micrófonos debido a su construcción y la tecnología que emplean.

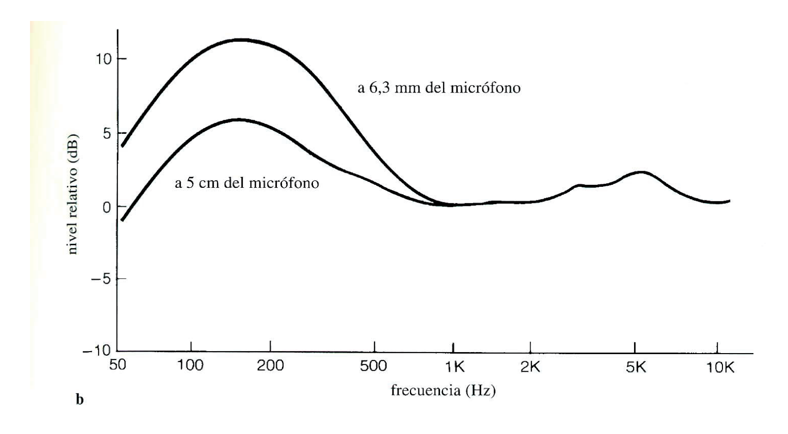



Ilustración 24. Efecto de proximidad (S. R. Alten)

Además de todo ello, cada micrófono, y de manera independiente a la tecnología de construcción que se utilice, presenta un diagrama propio de captación, llamado *diagrama polar*, que establece sus límites operativos de registro, tal como vemos a continuación.

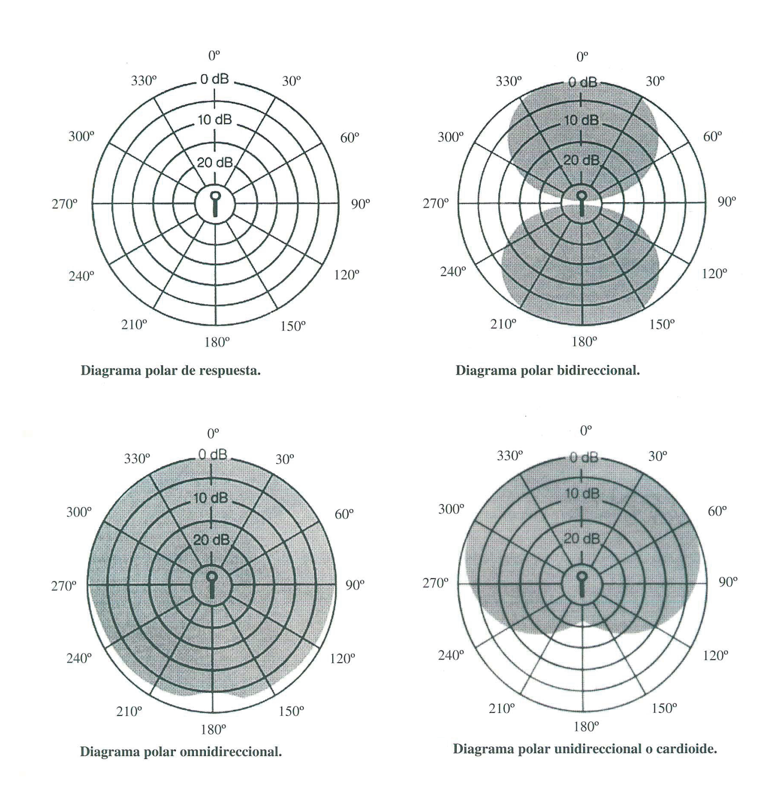



Ilustración 25. Diagramas polares de micrófonos (S. R. Alten)

En definitiva, y como resultado de las diferentes tipologías de construcción comentadas, en el mercado existen multitud de modelos de micrófonos de características muy diversas y destinados a usos muy diferentes en función de los requisitos y objetivos expresivos que se pretendan en cada producción sonora particular.

Además de los micrófonos convencionales, existen algunos otros para usos específicos, por ejemplo los de *cañón*, que son superdireccionales y se utilizan mucho para registrar el sonido directo, por ejemplo, en grabaciones de escenas de grupo para producciones audiovisuales. Hay otros micrófonos llamados *parabólicos*, que permiten el registro del sonido desde la distancia y son muy usados, entre otras aplicaciones menos lícitas, para la escucha y el estudio zoológico. Hay en el mercado algunos otros micrófonos de formas y aplicaciones muy diversas, por ejemplo, para recoger el pateo de la pelota en un partido de fútbol o la respiración del piloto de rally, que requieren un modelo de captación y unas tecnologías de construcción muy específicas; o algunos otros que solo se activan cuando detectan un sonido a registrar, como por ejemplo los utilizados para diversas tareas de vigilancia y teledetección.

Un tipo especial de tecnología de funcionamiento muy utilizada en la actualidad es la *inalámbrica*, adaptable a cualquier tipo de micrófono y que, como su

nombre indica, no utiliza cables para hacer llegar la señal hasta los dispositivos subsiguientes de amplificación y mezcla en la cadena de producción sonora. Se trata de micrófonos normales, de cualesquiera de las características descritas más arriba, que incorporan un transmisor de frecuencia modulada (FM), o en otro rango de frecuencias como las utilizadas en las normas Bluetooth o Wifi, dentro de la propia carcasa o en una unidad independiente, de modo que, por medio de un modulador y a través de una antena, transmiten la señal hasta un receptor que luego la decodifica y la inserta directamente en la cadena de producción a través de un cable de línea convencional. Un tipo particular de receptores inalámbricos son los *diversity*, denominados así porque utilizan para la recepción dos antenas que permiten evaluar el nivel de señal que llega a cada una de ellas y seleccionar la de mejor calidad, evitando los problemas que la degradación de la señal en la recepción pueda producir.

A los micrófonos se les pueden incorporar diversos accesorios, como *antivientos*, cuando se trabaja en exteriores, o *paneles antipop*, cuando se graba en estudio y se quiere evitar la distorsión sonora que provocan las *p* y las *b* al ser pronunciadas ante la mayoría de los micrófonos. Igualmente, se suelen utilizar diversos soportes para su sujeción de sobremesa, pie o pared, o pértigas telescópicas para facilitar su uso y manipulación manual para el acercamiento a la fuente sonora a registrar.

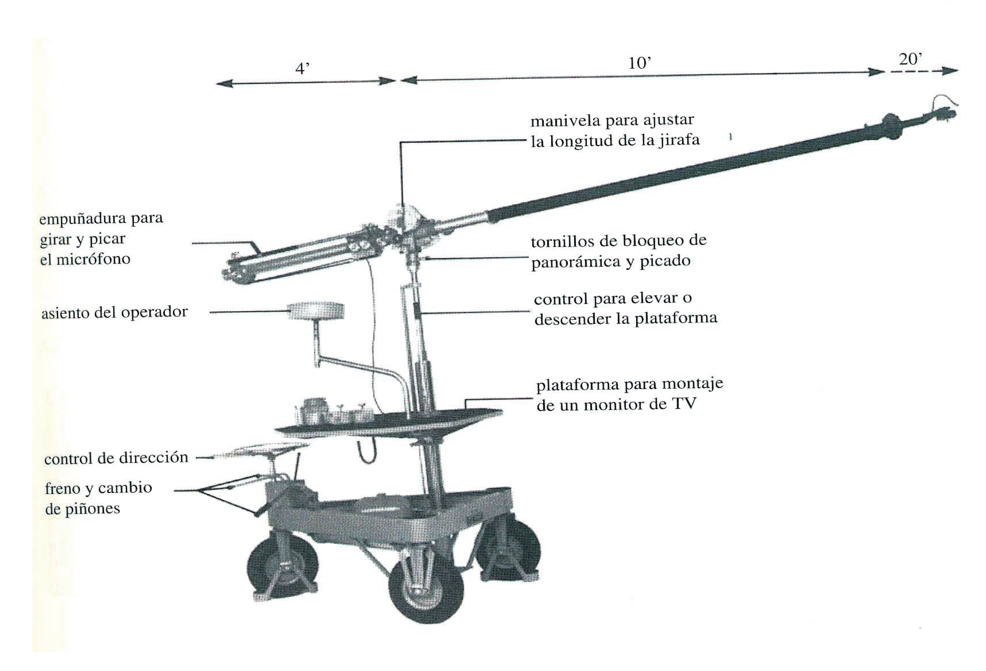



Ilustración 26. Soporte accesorio móvil para microfonía

También se pueden encontrar en el mercado micrófonos estéreo, es decir, que utilizan dos señales para realizar la captura del sonido, una para el canal izquierdo y otra para el derecho, aunque no suelen ser muy usuales ya que los efectos de estéreo se realizan normalmente durante el tratamiento y la postproducción de la señal sonora, utilizando técnicas de direccionamiento de la señal monofónica a cada uno de los canales que conforman la señal estereofónica, y que explicaremos más adelante junto a otros sistemas de localización espacial del sonido.

Una vez realizada la transducción mecanicoeléctrica mediante equipamientos de microfonía, ya disponemos de una señal de intensidad variable análoga al sonido original, y ahora debemos proceder a su tratamiento para adecuarla, según nuestros intereses, a las características que queramos imprimir a la señal original para su reproducción a la salida del sistema de producción sonora.

## 2.2.3. Mezcla y procesado del sonido

En primer lugar, hemos de tener presente que la captación profesional de un espacio sonoro en muy raras ocasiones se realiza utilizando una sola fuente de registro: Lo habitual es distribuir por las fuentes sonoras de la manera más eficiente un determinado número de micrófonos, de características y respuesta adecuada al tipo de fuentes a registrar y al sistema de producción sonora que estamos utilizando, que generarán señales de audio que deberemos tratar individualmente y que, luego, agruparemos según nuestros intereses hasta realizar la mezcla final.

Esta operación de agrupamiento se realiza desde la *consola de mezclas*, cuyo funcionamiento y concepción es independiente de que el equipo realice la conversión analogicodigital en la entrada de cada señal o funcione en modo analógico. En la mesa de mezclas, se recoge individualmente cada una de las señales procedentes de las fuentes de captación utilizadas, que pueden estar siendo capturadas en ese instante en directo con micrófonos o pueden estar pregrabadas anteriormente, o incluso estar elaboradas en ese momento con generadores electrónicos de señales de audio como, por ejemplo, sintetizadores. Tal como podemos ver a continuación, una mesa de mezcla no es más que un dispositivo de entrada/salida de señales cuyas prestaciones para el tratamiento, agrupado o individual, de cada una de las fuentes puede variar en función de los equipos, aunque, cuanto menos, todos los mezcladores de audio permiten unas operaciones básicas que son necesarias para adecuar mínimamente las características de la señal de entrada.

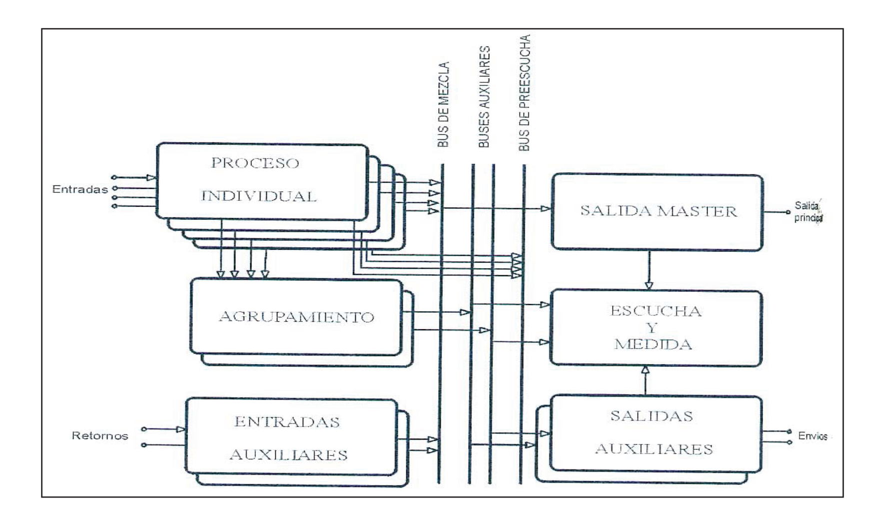



Ilustración 27. Esquema del proceso de la mesa de mezclas (F. Molero)

Tal como vemos, cada entrada individual puede ser procesada de manera autónoma o agrupada junto a otras y, además, la consola puede recibir entradas auxiliares y hacer también envíos de señales por salidas auxiliares que, después, pueden retornar de nuevo a la mesa una vez hayan sido tratadas en otros equipamientos. Cada una de las señales se puede monitorizar, escuchar, de manera individual o agrupada junto a otras para determinar su adecuación a los fines de la mezcla y, finalmente, conformar con todas ellas una única señal de salida general, denominada *máster*, cuyos resultados tambien se monitorizarán y controlarán globalmente para, en última instancia, disponer a la salida del sistema de una señal de audio perfectamente adecuada a los intereses de producción establecidos. Al proceso de produccion profesional de audio se le llama comúnmente, por esta razón, *masterización*, en tanto que el objetivo es obtener una señal máster, maestra, que recoja el sonido resultante de las señales en bruto con que se alimentaron las fuentes de entrada de la mesa de mezclas.

Individualmente, tal como vemos a continuación, cada una de las entradas dispone, al menos, de unos controles básicos sobre la señal. En primer lugar debemos distinguir si la señal de entrada es de micrófono o de línea, es decir, de cualquier otra fuente no microfónica, ya que en el caso de que provenga de un micrófono necesariamente se habrá de autoamplificar. Por ello las entradas a la mesa son específicas para los micrófonos, puesto que el voltaje de la señal de entrada es inferior al valor nominal con que funcionará internamente el sistema, generalmente a 1 o 0,775 voltios. Enseguida tenemos un selector de preescucha o previo, con el que podremos monitorizar el nivel de volumen de la señal en la entrada, que podremos controlar con un regulador de nivel y visualizar gráficamente su valor. El medidor visual nos avisará, normalmente, con una escala cromática de indicadores *led* que llega hasta el color rojo cuando el nivel de la señal sea demasiado elevado y exista peligro de saturación eléctrica del sistema, alertando de la distorsión sonora que produce tal situación sobre la señal y los daños sobre el equipamiento que se pueden provocar.

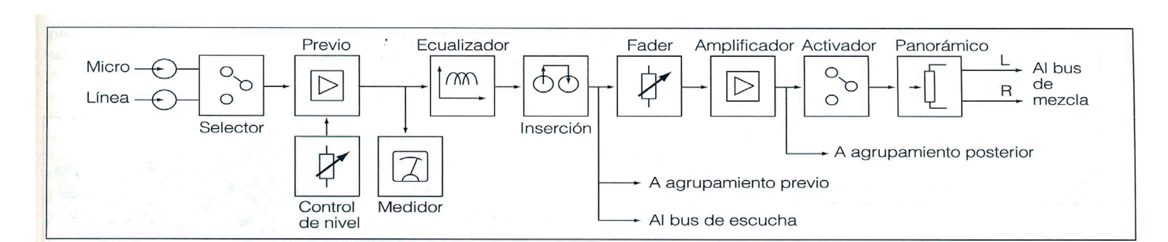



Ilustración 28. Esquema del canal de entrada de mesa de mezclas (S. R. Alten)

Como se puede ver en el gráfico, después del previo de escucha encontramos un ecualizador, que puede ser más o menos sofisticado y puede funcionar agrupando conjuntos de frecuencias (en altas, medias y bajas), o ser del todo parametrizable y permitir seleccionar frecuencias específicas y determinar su nivel de intensidad individualmente, utilizando para ello filtros *lowpass*, *highpass* o *notch*, es decir, dejando pasar solo las frecuencias situadas por debajo de la frecuencia de corte, las que están por encima, o suprimiendo una frecuencia específica en el caso de los

filtros *notch*, muy útiles para, por ejemplo, la reducción de ruido que, en general, suele poder localizarse en frecuencias muy concretas. En un ecualizador paramétrico, del que se muestra un ejemplo gráfico a continuación, se puede decidir la ganancia, es decir, la intensidad de atenuación o de aumento de la señal para la frecuencia de corte seleccionada; el ancho de banda, es decir, el conjunto de frecuencias que abarca; y el *factor Q*, es decir, la amplitud del efecto a ambos lados sobre las frecuencias adyacentes a la frecuencia central seleccionada.

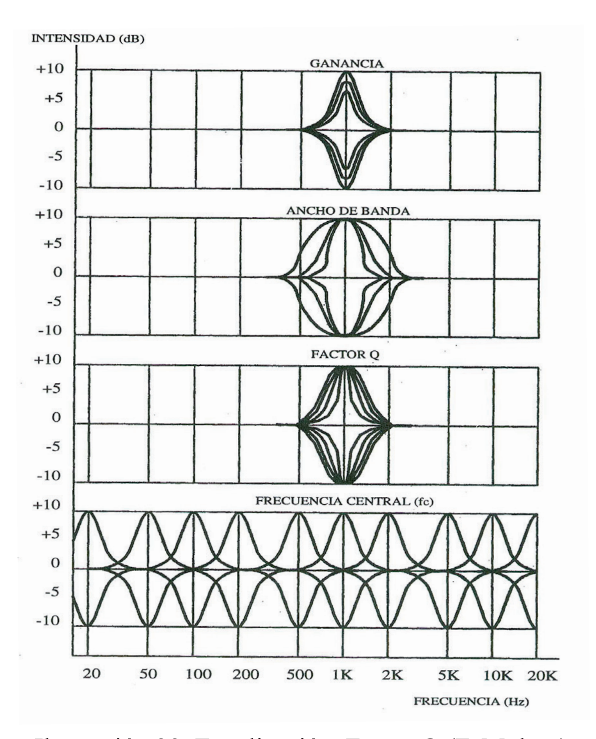



Ilustración 29. Ecualización. Factor Q (F. Molero)

Despues de la ecualización, aún tenemos la posibilidad de llevar la señal a un equipo externo y una vez modificada volver a insertarla en ese mismo punto del bus de entrada, o utilizando otro canal si así lo queremos.

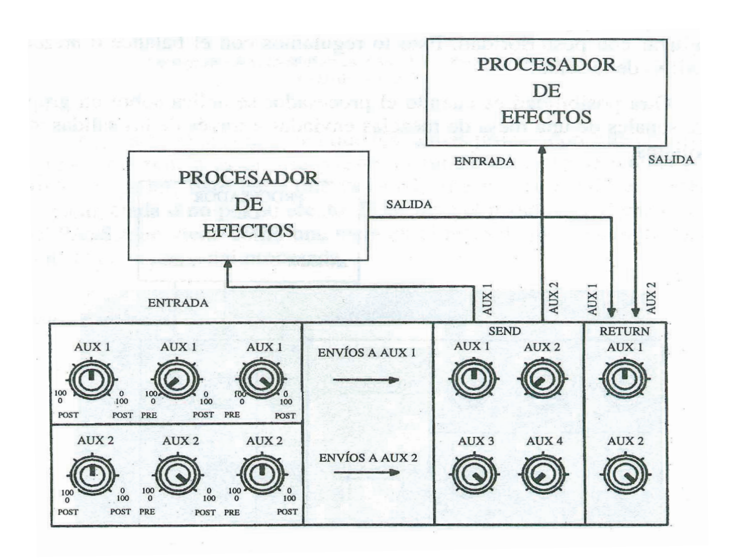



Ilustración 30. Esquema de entrada/salida de efectos en mesa mezcla (S. R. Alten)

Un poco más allá tenemos salidas de monitorización y agrupamiento y, después, encontramos el *fader*, que no es más que un deslizador que hace las veces de potenciómetro y aumenta el voltaje de la señal, de igual manera que hacía algo más atrás en el esquema el regulador de nivel de entrada, permitiendo decidir la intensidad de la señal y en definitiva el volumen final con el que la fuente sonora de ese canal se mezclará con el resto de fuentes. Después del fader que regula el amplificador encontramos el activador de canal, control que nos permite decidir si esa fuente interviene en el proceso de mezcla o no. Y, en último lugar, para cada fuente de entrada a la mesa de mezclas encontraremos un control de panorámica, que permite dirigir la señal hacia el canal izquierdo o derecho de la mezcla final, y nos permitirá decidir la forma en que se conformará globalmente la mezcla en estéreo, en función de la distribución individual de fuentes y grupos de fuentes de entrada que direccionemos a cada canal durante la grabación.

A continuación podemos ver el aspecto que presenta una mesa de mezclas común, aunque cada vez es más usual que la mayoría de las mesas digitales dispongan de menús en pantalla que realizan todas las funciones que aquí podemos ver dispuestas en controles manipulables manualmente.

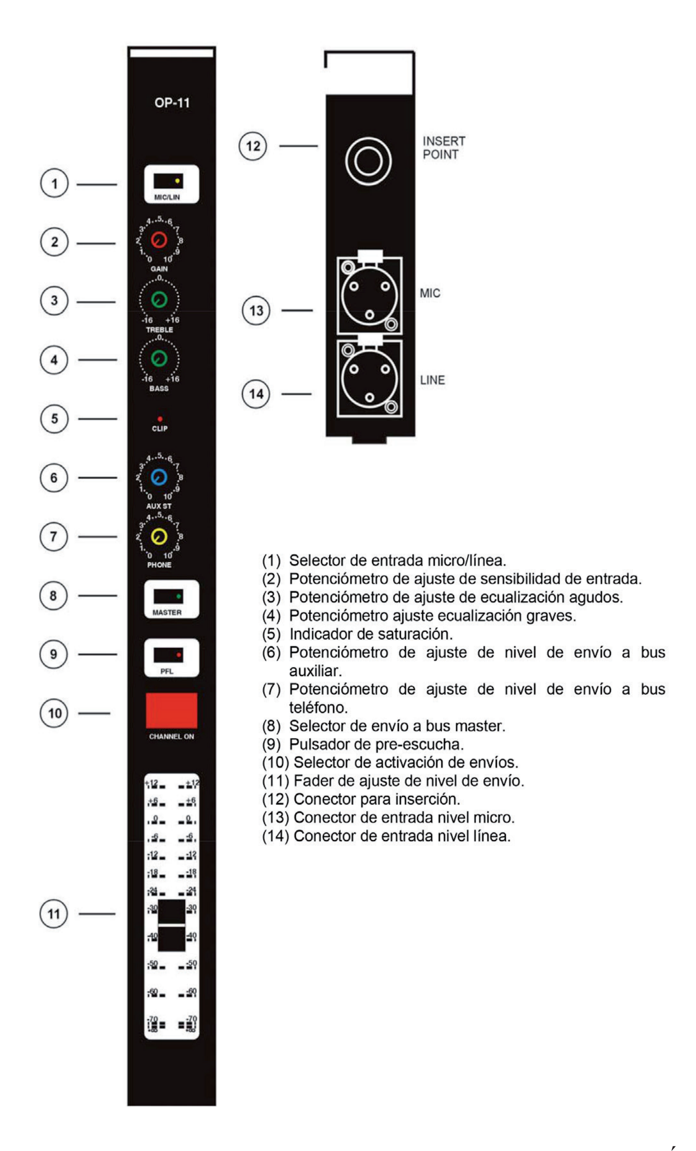



Ilustración 31. Selector de entrada de mesa de mezclas (Yamaha Ópera)

Como se puede observar con facilidad, una mesa de mezclas no es más que un dispositivo de entrada/salida que permite el tratamiento de la señal y su agrupamiento final o *masterización*. Lo que resta en todo sistema de producción profesional de sonido, una vez obtenida la señal máster, es registrarla de manera adecuada y dejarla dispuesta para su distribución y reproducción adecuada en los soportes y equipos determinados para su escucha, cuyas características veremos a continuación.

Tal como comentábamos, a las mesas de mezclas se las puede complementar con equipos externos a los que se pueden enviar señales que de nuevo se retornarán a la mesa, o utilizar también con ellas otros equipos auxiliares que operen con la señal máster una vez ya mezclada. Entre los equipos externos más habituales en el estudio de sonido podemos encontrar *ecualizadores* que, aunque ya estén incluidos en la mayoría de mesas de mezcla, muchas veces se necesitan como soporte para el trabajo específico con fuentes o grupos de fuentes que requieren un tratamiento más complejo; se pueden encontrar habitualmente también *compresores/limitadores*, utilizados para disminuir de manera proporcional el rango dinámico de la señal, su volumen, y evitar así saturaciones y picos de distorsión, algunos de ellos con la posibilidad de establecer umbrales máximos a partir de los cuales se realiza de manera automática la compresión; y diversos *procesadores de efectos*, entre los más comunes se hallan los que permiten regular el eco y la reverberación, cambiar la fase, la modulación, cambiar la tonalidad o *pitch*, producir retardos y distorsiones controladas, establecer puertas de ruido, etc., muchos de ellos actualmente disponibles en las propias mesas de mezcla digitales y, desde luego, en los sistemas de mezcla y procesamiento de sonido basados en *software* y plataformas informáticas.

Cabe mencionar, para finalizar este epígrafe, al menos brevemente, el sistema de conexión de equipamientos de sonido MIDI (Musical Interface Digital Instrument) que supuso en su momento la antesala de la introducción de los equipos digitales en los estudios profesionales de sonido y es todavía muy utilizado entre los músicos en la actualidad. El sistema MIDI es un protocolo de conexión y control remoto de instrumentos musicales que permite manejarlos mediante secuencias de datos estandarizadas, normalmente mediante un teclado MIDI. Los datos de control MIDI, además, se pueden grabar en archivos informáticos y utilizarse posteriormente y, de este modo, reproducir las variaciones tímbricas, tonales y de volumen de una composición musical y reconstruir sonoramente la pieza conectando instrumentos que sean capaces de interpretar el protocolo MIDI, es decir, que utilicen una interfaz MIDI.

### 2.2.4. Amplificación y monitorización del sonido. Altavoces

Durante todo el proceso de tratamiento y masterización de la señal, es decir, mientras se realizan las operaciones pertinentes de ecualización y mezcla de las distintas fuentes que conforman el *máster* final, se ha de monitorizar permanentemente el estado de las señales que se introducen en el sistema de producción de audio y el resultado que se está obteniendo con las manipulaciones y mezclas realizadas con el conjunto de fuentes sonoras originales.

Para monitorizar el sonido se utilizan equipamientos específicos, los altavoces, cuyo funcionamiento es exactamente inverso a los micrófonos de bobina o dinámicos, es decir, son transductores de energía eléctrica en energía mecánica. La calidad de su respuesta y los resultados que con ellos se pueden obtener dependerá, como ocurre con todos los equipamientos de producción sonora, de los materiales y la forma en que están construidos. Es importante que los altavoces, como los micrófonos, tengan una respuesta lo más plana posible ante las variaciones de la onda sonora original, respuesta que nos proporcionará mediante la transducción de una señal eléctrica en energía mecánica un rango de frecuencias audibles que se pretende reproduzcan las fuentes sonoras y la mezcla final con calidad profesional. Los altavoces, tal como vemos a continuación, convierten diferencias de tensión en diferencias de presión utilizando, para ello, una membrana que imprime al medio de propagación una fuerza de vibración proporcional a la intensidad y a la frecuencia de la señal eléctrica que recibe. Una bobina móvil inserta en un campo magnético reacciona a esos impulsos eléctricos provocando el movimiento de una membrana suspendida en la carcasa y a la que está unida y, consecuentemente, se produce el desplazamiento de las moléculas que se encuentran en el exterior del cono del altavoz con intensidad y frecuencia proporcionales a la señal de entrada, dando como resultado que la señal eléctrica se convierta en una señal sonora audible análoga.

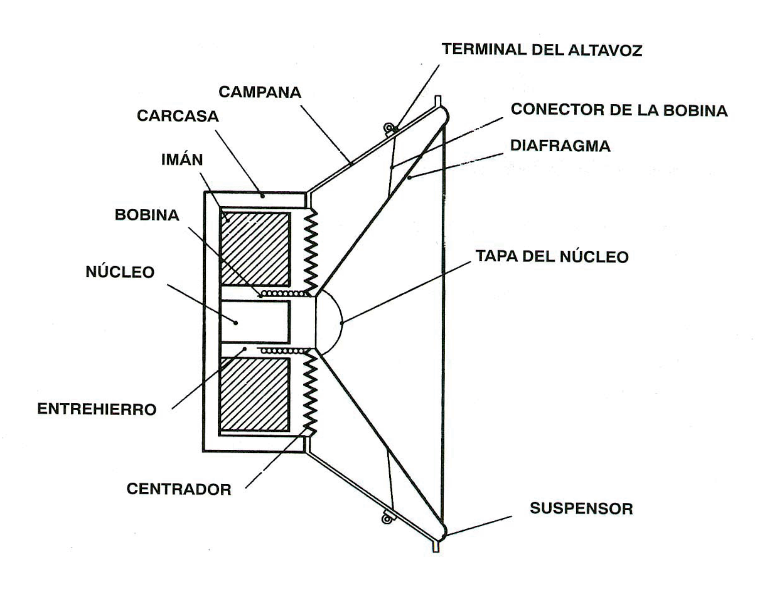



Ilustración 32. Sección de altavoz (Cuenca y Gómez)

Los altavoces pueden ser de diversos tamaños y, según su construcción, estar destinados a reproducir rangos de frecuencia específicos con una potencia máxima determinada. Para aumentar la intensidad de la señal eléctrica de salida en los equipos de producción de sonido, antes de que la señal llegue a los altavoces se utilizan los amplificadores, cuya única función es incrementar el nivel de la señal sin introducir distorsiones y de manera lineal en función de cada una de las frecuencias. Al amplificador se le conectan, entonces, los altavoces adecuados a la potencia que puede suministrar, de manera que las prestaciones del sistema sean adecuadas a las de sus componentes. La potencia nominal de los altavoces

se expresa generalmente en vatios, y su valor indica el número de vatios que un altavoz puede soportar antes de que se produzca una distorsión de la señal audible inaceptable.

Los altavoces también se diferencian entre sí según su sensibilidad y su directividad, como los micrófonos, y, sobre todo, por su respuesta en frecuencia, distinguiendo así entre altavoces para agudos, medios y graves o *subwoofer*, ofreciendo estos últimos frecuencias inferiores a los 100 Hz. Se pueden encontrar altavoces individuales de cada tipo particular o sistemas de dos o tres vías en los que se incluye un altavoz agudo y otro grave, o ambos más uno que radie las frecuencias medias. En los altavoces de tres vías, por lo general, los altavoces graves sirven frecuencias situadas en el rango de 20 Hz y 400 Hz, los medios responden ante frecuencias comprendidas entre los 400 Hz y 4 Khz, y los agudos por encima de estas últimas y hasta los 20 Khz, aunque puede existir cierta variabilidad dependiendo del fabricante y del sistema de construcción y materiales empleados. Cuando se montan en cajas acústicas, como vemos a continuación, algunos de ellos en lugar de separar en cada una de las dos o tres vías las frecuencias a reproducir, utilizan radiadores pasivos o tubos resonadores que permiten conseguir el mismo efecto aprovechando mejor la energía que suministra el sistema.

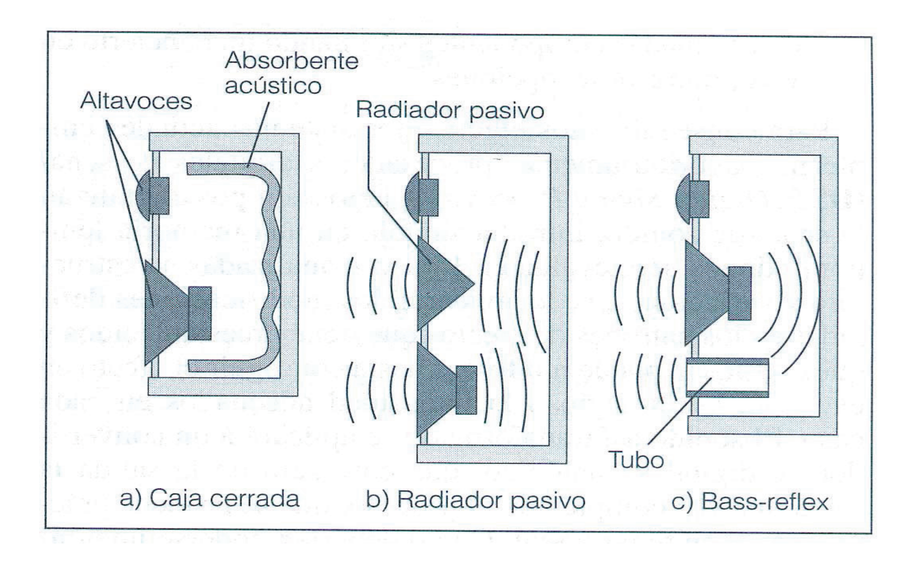



Ilustración 33. Distintos tipos de caja acústica (F. Molero)

Los sistemas de altavoces se utilizan en configuraciones estereofónicas, es decir, de dos canales y emulando nuestro sistema auditivo, u otras disposiciones más complejas como el sistema de sonido envolvente multicanal, que puede ser 5.1 o 7.1 comúnmente. Tal como vemos a continuación, la diferencia con el estéreo es la utilización de 5 o 7 altavoces en lugar de 2, es decir, canales individuales a los cuales se habrá direccionado de manera previa parte de la señal resultante de la mezcla final en todo el proceso de producción, facilitando así que durante la audición el oyente tenga la sensación de estar situado en el centro de una escena entre diversas fuentes sonoras espacialmente localizadas a su alrededor.

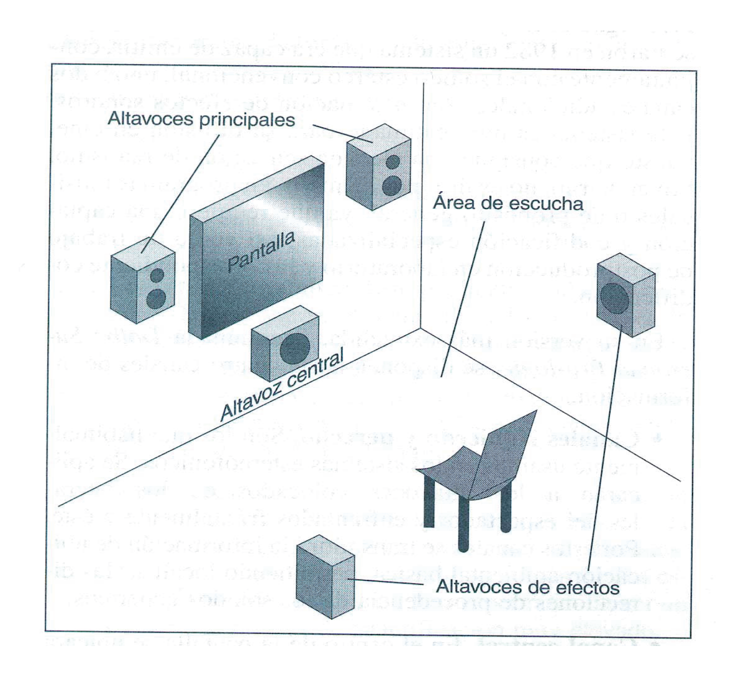



Ilustración 34. Sistema de sonido 5.1 (F. Molero)

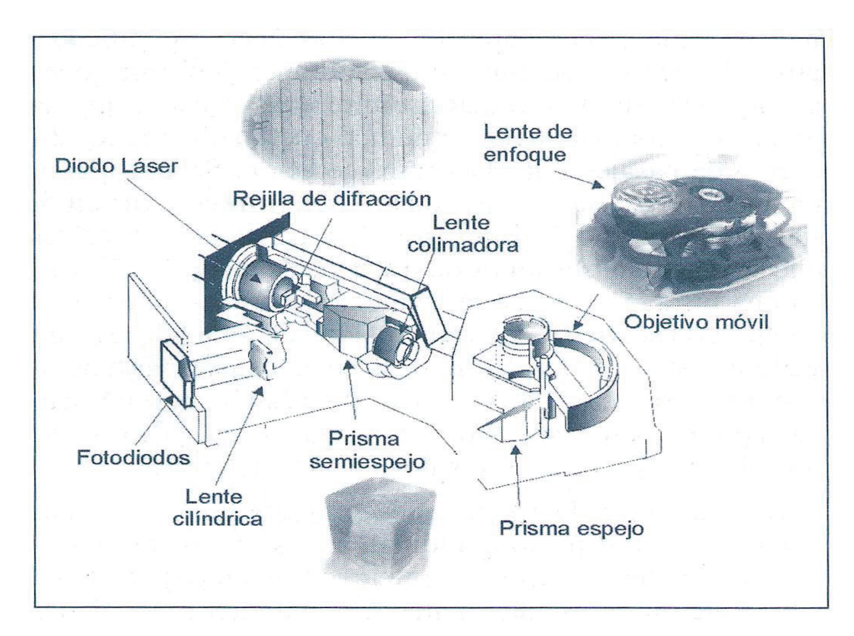
Los formatos de sonido envolvente más extendidos son Dolby, DTS y THX, y todos ellos con distintas técnicas buscan obtener un sonido mucho más espectacular y aportar una experiencia sonora más intensa. La diferencia entre unos y otros radica en la forma de codificación y distribución de la señal multicanal, además de los sistemas específicos de reducción de ruido que utilizan para la mejora de la calidad final del sonido. Pero, sobre todo, su mayor o menor éxito depende de políticas y alianzas comerciales y de *marketing* entre las empresas de la industria de equipamientos y las de producción y distribución audiovisual y su grado de implantación en el mercado frente a sus competidores, pues todos ofrecen una calidad similar.

## 2.2.5. Soportes y equipos de grabación

El registro de la señal de audio se realiza en la actualidad utilizando las tecnologías de grabación magnetoópticas y los actuales dispositivos de archivo que podemos encontrar en el mercado se usan de manera indiferente para cualquier tipo de contenido digital, dado que el archivo contiene datos binarios en todos los casos, sean estos de audio o de otro tipo.

Entre los soportes actualmente más utilizados para la grabación de archivos de sonido, encontramos aquellos que utilizan tecnología láser, tales como CD o DVD, para el registro de los datos de manera permanente sobre una superficie deformable microscópicamente, o sobre una superficie magnetizada que permite el borrado y reescritura de los datos. El sistema de luz láser, tal como vemos a continuación, está fundamentado en un diodo emisor cuya luz atraviesa una lente colimadora, y se concentra aún más, para después, con un sistema de enfoque, hacerla llegar hasta la superficie de un disco giratorio sobre la que, tal como vemos en el ejemplo de un CD no regrabable, el calor del haz produce deformaciones microscópicas

superficiales que, posteriormente, podrán ser ser leídas e interpretadas utilizando la reflexión del láser sobre la superficie.



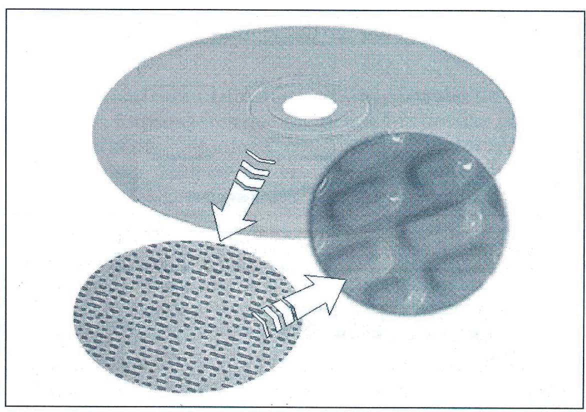
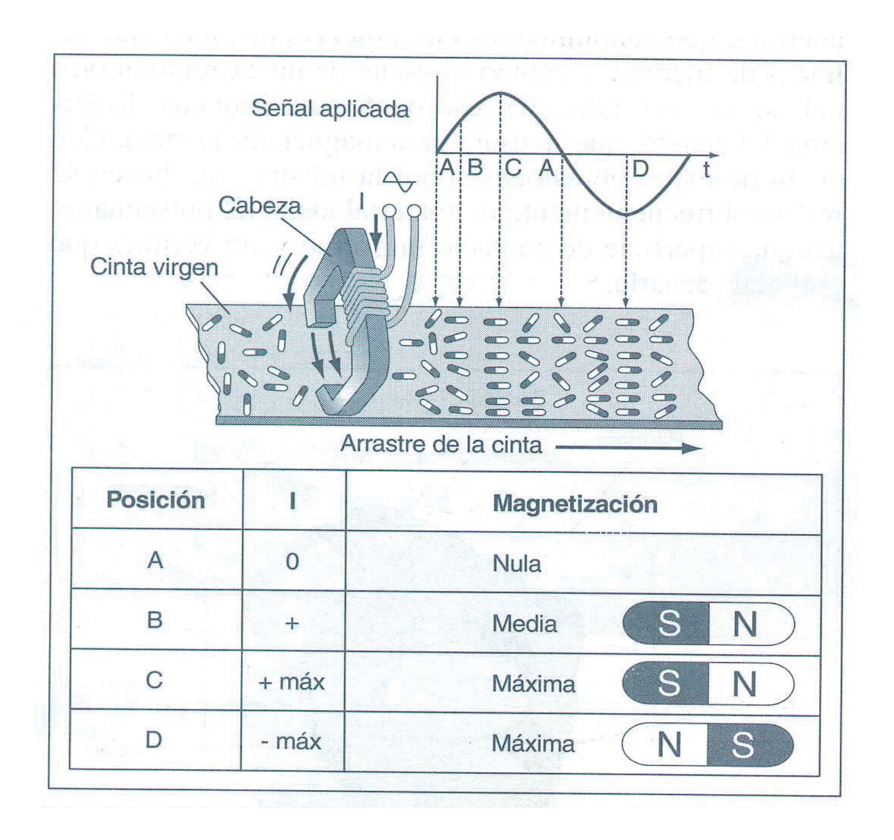



Ilustración 35. Esquema de sistema de lectura/grabación CD/DVD

Otro sistema de grabación más tradicional, y prácticamente ya sustituido en la mayor parte de los estudios de grabación, es el realizado sobre cinta magnética. Funciona con los mismos principios que todos los soportes magnéticos, es decir, aprovechando el campo magnético que genera de manera inherente la corriente eléctrica de manera proporcional a su intensidad para polarizar las partículas suspendidas sobre una superficie magnetizada, en este caso una cinta que se desplaza a determinada velocidad por la cabeza lectora/grabadora. Tal como vemos en el gráfico, la variación en la posición inducida a las partículas magnéticas sirve de registro de la intensidad de la señal eléctrica recibida, la cual –para el caso del sonido– contiene la información de la onda sonora original que se convirtió en señal eléctrica al entrar al sistema de producción de audio. Al contrario que en los CD o DVD que solo graban 1 o 0, la señal grabada en las cintas puede ser analógica o digital, aunque lo común es que todos los sistemas de registro sean ya digitales en la mayoría de los estudios de producción profesional de sonido.




| Posición | I | Magnetización |
|---|---|---|
| A | 0 | Nula |
| B | + | Media S N |
| C | + máx | Máxima S N |
| D | - máx | Máxima N S |

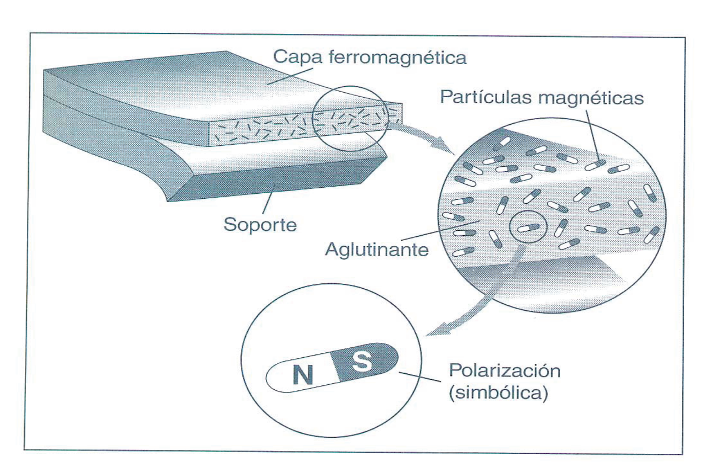



Ilustración 36. Grabación magnética (F. Molero)

Otro soporte de archivos que podemos encontrar en el mercado, actualmente en sustitución por las memorias de estado sólido que comentamos un poco más abajo, también utiliza tecnología de grabación magnética, con la única particularidad de que está basado en discos giratorios que permiten, a diferencia de los sistemas de cinta, el acceso aleatorio a los datos, lo cual facilita enormemente su lectura, procesamiento y grabación.

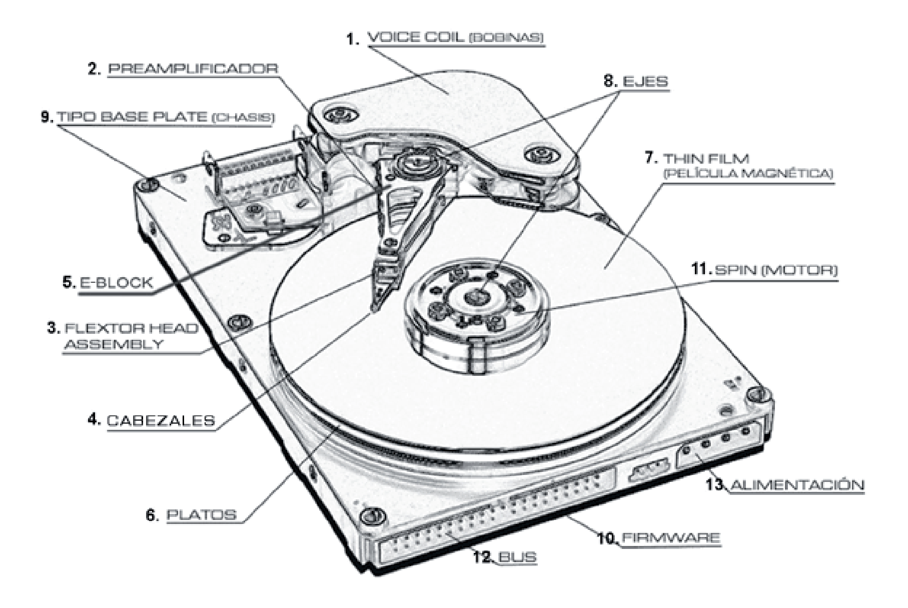



Ilustración 37. Grabación en disco duro

Los soportes de grabación más utilizados en la actualidad, y con más futuro, son las memorias de estado sólido, muy efectivas porque permiten gran densidad de almacenamiento y son memorias no volátiles, es decir, no necesitan alimentación adicional y además pueden ser borradas y reutilizadas tantas veces como sea necesario.

Este tipo de memorias, en general conocidas como tipo *flash*, en sus distintas arquitecturas, se encuentran en diversas formas comerciales que se diferencian entre ellas por su construcción y algunas mejoras específicas para aumentar la velocidad de registro y transmisión de los datos, aspecto crítico en algunas aplicaciones de audio profesional y, sobre todo, audiovisuales. Entre las tarjetas más usuales encontramos las CompactFlash (CF), SmartMedia (SM), Memory Stick (MS), SD-Memory Card (SD) y XD-Picture Card (XD), todas con la misma tecnología de grabación aunque permitiendo diferentes densidades de datos en la grabación y velocidades de operación distintas, y diferentes precios, que responden a innovaciones tecnológicas específicas pero, también, a los intereses estratégicos de las empresas que las comercializan.




Ilustración 38. Memorias de estado sólido tipo *flash*

Independientemente del soporte que se utilice, existen diversos formatos de archivo de audio para la grabación, entre los más populares, los siguientes:

- AAF *(Advanced Authoring Format)*. Formato de archivo de intercambio de proyectos multiplataforma, que puede utilizarse para importar varias pistas de audio, incluidas las referencias a pistas, posiciones cronológicas y automatización de volumen.

- AIFF *(Audio Interchange File Format*). Se trata de un formato de archivo multiplataforma compatible con gran número de aplicaciones de edición de audio y vídeo digital. El formato AIFF de audio puede utilizar diversas profundidades de bits, siendo las más comunes 16 y 24 bits.

- WAV, WAVE. El principal formato de audio utilizado por los ordenadores compatibles con Windows.

Otro formato de archivo muy popular es MPEG-1 layer 3, también conocido como MP3, que utiliza algoritmos de compresión para la reducción de datos basados en el enmascaramiento de frecuencias no audibles, disminuyendo así sensiblemente el tamaño del archivo con solo ligeras pérdidas de calidad y siendo muy eficiente para la transmisión por internet.

| Formato | Frec. Muestreo (KHz) | Canales | Caudal por canal (Kb/s) | Uso |
|---|---|---|---|---|
| PCM (G.711) | 8 | 1 | 64 | Telefonía |
| CD-DA / DAT | 44,1/48 | 2 | 705,6/768 | Audio Hi-Fi |
| MPEG-1 Layer I | 32/44,1/48 | 2 | 192-256 variable | |
| MPEG-1 Layer II | 32/44,1/48 | 2 | 96-128 variable | |
| MPEG-1 Layer III (MP3) | 32/44,1/48 | 2 | 64 variable | Hi-Fi Internet |
| MPEG-2 AAC | 32/44,1/48 | 5.1 | 32-44 variable | Hi-Fi Internet |

Ilustración 39. Distintos formatos de audio con compresión.

## 2.2.6. Producción y postproducción musical

La mayor parte del trabajo actual de mezcla y producción de audio se realiza utilizando plataformas de *software* específicas, entre las que se encuentran programas de reconocido prestigio entre los profesionales del sector de producción sonora como Protools y las desarrolladas por Apple y distribuidas en el paquete Logic Studio, que veremos brevemente a continuación.

Logic Pro es un programa destinado, como Protools, a la producción profesional de sonido multipista que hace uso de herramientas de escritura, edición, mezcla y grabación de manera muy efectiva y está perfectamente integrado con otros paquetes de *software* de producción audiovisual como, por ejemplo, Final Cut, el editor de vídeo también distribuido por Apple, del que hablaremos en el siguiente capítulo. Logic Pro y Final Cut conforman una plataforma de producción sonora y audiovisual de grandes prestaciones y contrastada fiabilidad que se ha convertido en los últimos años en una de las preferidas del sector de producción profesional de audio y vídeo.

A continuación podemos ver el interfaz de Logic, extraordinariamente intuitivo y fácil de manejar y con multitud de herramientas para composición y producción musical y edición de audio.

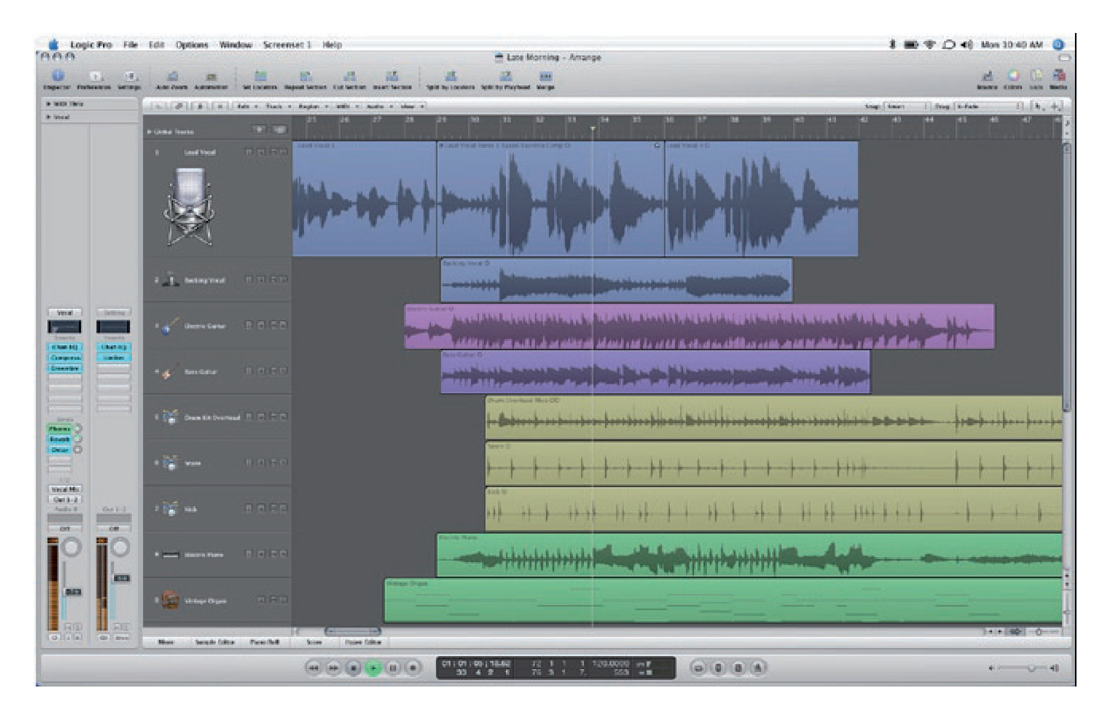


Ilustración 40. Espacio de trabajo del programa Logic Pro

Como se puede observar, el espacio de trabajo de Logic distribuye la pantalla horizontalmente con las sucesivas pistas de cada instrumento o fuente musical, de manera que se puede editar y sincronizar el conjunto con facilidad para conformar una mezcla final en la que el manejo de cada pista resulta muy cómodo e intuitivo. También dispone de facilidades de distribución en distintos formatos y herramientas para masterizar con sonido envolvente 5.1 *surround*.




Ilustración 41. Mezcla y distribución del espacio sonoro en Logic Pro

Con el *software* de postproducción, en consecuencia, las labores de producción sonora y musical se facilitan y potencian mucho, además de impulsar el trabajo creativo con herramientas y librerías de efectos que, tal como ocurre en los sistemas digitales, se integran de manera sencilla en el flujo de la mezcla de manera no destructiva. Con todo ello, en definitiva, se reducen drásticamente los tiempos y los costes de producción y se mejora de manera muy signficativa la calidad de los resultados finales.

## 2.3. Transmisión de sonido. La radio

Uno de los sistemas de distribución de señal de audio con más historia es el que hace uso de radiofrecuencias, utilizado incluso antes de poder siquiera registrar la señal sonora, haciendo llegar el sonido hasta receptores situados muy lejos del lugar donde se produce la emisión radiofónica, es decir, la radio.

La tecnología de radio supuso la continuación de los avances en telegrafía sin hilos que se habían venido produciendo a lo largo de las últimas décadas del siglo XIX. La invención de la radio como tal se atribuye a Marconi, en el año 1897, aunque hubo otros, como Alexander Popov o Nikola Tesla, que pueden considerarse igualmente sus inventores.

Sin embargo, a pesar de su temprana invención, hasta pasada la Primera Guerra Mundial no se empezaron a crear emisoras y redes de transmisión, que a partir de entonces se expandieron con rapidez y jugaron un importante papel como medio de comunicación público y, especialmente, en su aplicación propagandística en el período inmediatamente anterior a la Segunda Guerra Mundial, como elemento geoestratégico fundamental para los países contendientes.

En tanto que tecnología de la comunicación, su desarrollo es el resultado de la invención de la lámpara de tres electrodos o triodo por De Forest en 1906, que permitía no solo detectar el sonido sino también amplificarlo. Otros físicos de prestigio como Hertz demostraron la teoría electromagnética de Maxwell, dando nombre a las ondas hercianas en su honor, y, junto a otros como el francés Branly, inventor del detector de ondas, allanaron el camino para que Marconi ideara un sistema de transmisión y recepción a distancia de ondas electromagnéticas o hercianas, es decir, la emisión por radiofrecuencia o *radio*.

La producción radiofónica, como podemos ver a continuación, es similar al sistema de producción sonora ya estudiado, pero se caracteriza por la utilización de un sistema radiante de distribución mediante antenas que permite hacer llegar la señal sonora, en forma de ondas electromagnéticas de idéntica naturaleza que las de la luz pero de distinta longitud de onda y frecuencia, hasta los receptores domésticos.

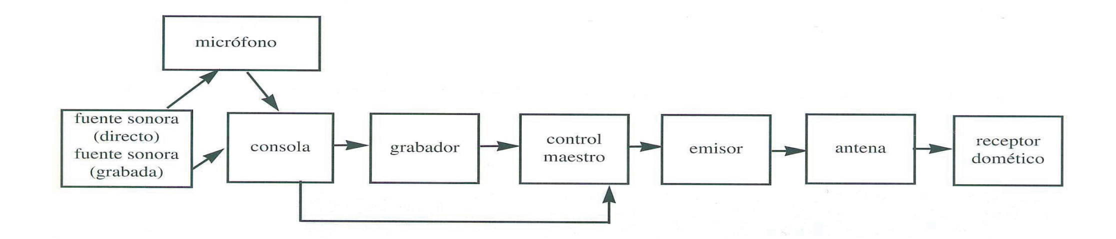



Ilustración 42. Esquema del proceso de producción y radiodifusión (F. Molero)

La distribución de la señal se realiza utilizando una red de antenas conformada por nodos repetidores que disponen la señal en las frecuencias adecuadas para su decodificación por los receptores, en un rango determinado de frecuencias asignadas normativamente para la trasmisión de radio, que por ejemplo para la FM está entre los 88 y 108 MHz.

| Banda de frecuencias | Canales | Designación |
|---|---|---|
| 10 a 35 MHz | | Canal ascendente |
| 54 a 72 MHz y 76 a 88 MHz | 2 a 6 | Banda baja |
| 88 a 108 MHz | Radio - FM | Banda de FM |
| 108 a 174 MHz | 98, 99 y 14 a 22 | Banda media |
| 174 a 300 MHz | 7 a 13 y 23 a 36 | Superbanda |
| 300 a > 402 MHz | 37 a >53 | Hiperbanda |

Ilustración 43. Frecuencias de emisión de radio (F. Molero)

Para hacer posible la distribución mediante radiofrecuencia de sonido, tal como vamos a ver un poco más adelante, se codifica, se *modula*, la señal eléctrica de audio y se hace llegar hasta un sistema radiante que la convierte en energía electromagnética y la emite hacia el exterior utilizando una antena. En el otro extremo del sistema de producción de radio se encuentran las antenas receptoras que, conectadas a un sistema de demodulación realizan la operación inversa, es decir, convierten las señales electromagnéticas en señales eléctricas con información de audio que podrá ser decodificada y dirigida a los altavoces del equipo receptor para su conversión en sonido audible.

## 2.3.1. La emisora radiofónica. Estructura básica

El proceso de producción radiofónica se realiza desde estudios acondicionados de manera adecuada y diseñados al efecto, normalmente distribuidos por espacios de producción en los que se llevan a cabo los programas que, en directo o pregrabados, serán emitidos.

Desde el punto de vista de la tecnología de producción de sonido en una radio, el centro neurálgico son el locutorio y el control técnico que, juntos, conforman una

Francisco López Cantos - ISBN: 978-84-16356-62-1 Tecnología de la comunicación - UJI - DOI: http://dx.doi.org/10.6035/Sapientia113
Índice

unidad de producción autónoma. Una radio puede tener varios locutorios y controles técnicos, además de otras salas para archivo, gestión de continuidad y las habilitadas para postproducción de audio, o para tareas de redacción periodística o producción de programas, en caso de que se realice algún tipo de programa informativo o similar.

A continuación podemos ver el esquema de funcionamiento de un locutorio y su estructura que, como se puede apreciar, está equipada con aislamiento acústico e intercomunicada mediante cables con el control de producción, normalmente a través de una ventana, o pecera en el argot profesional, o también mediante un sistema de vídeo interno en algunos casos.

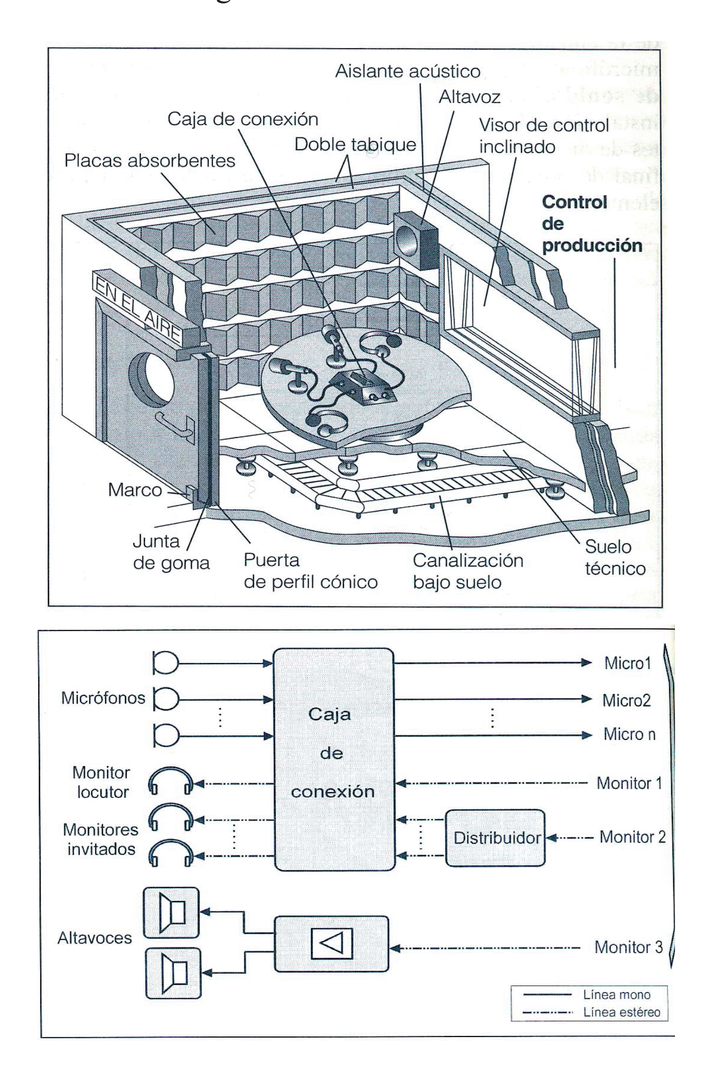



Ilustración 44. Esquema de cabina de locución y estudio radiofónico (S. R. Alten)

En el control de producción se realiza cada programa utilizando los equipos de mezcla y tratamiento de la señal ya estudiados. La señal de sonido se envía al extremo de salida de la cadena de producción radiofónica, donde se encuentra el control de emisión, que por lo general suele ocupar otra sala situada en el edificio de los propios estudios, y allí se adecua para su emisión por radiofrecuencia.

## 2.3.2. Emisión por radiofrecuencia

Para entender en qué consiste la emisión radiofónica vamos a recordar las características de una onda electromagnética que, como podemos ver a continuación, se desplaza de manera longitudinal portando energía electromagnética.

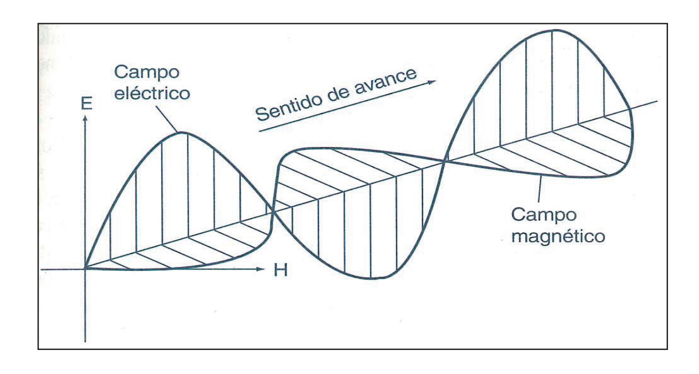
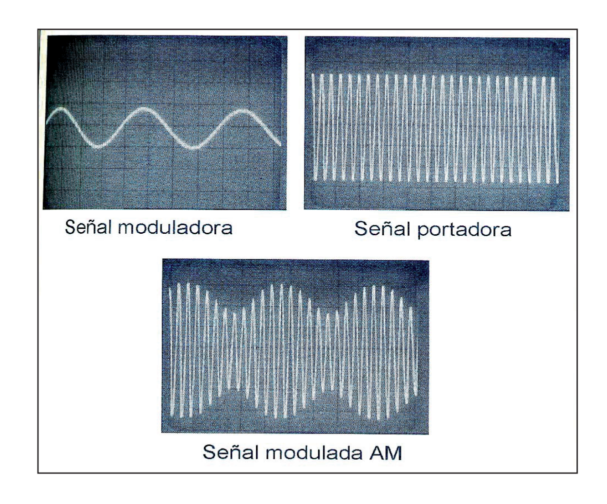



Ilustración 45. Campo eléctrico y magnético en onda de emisión electromagnética (F. Molero)

Tal como hemos visto, la onda senoidal que forma una señal eléctrica de audio recoge la diversidad del conjunto de frecuencias y amplitudes que conforman el sonido, de manera que la información sonora está registrada y codificada en ella. Si la onda eléctrica tuviera forma de almena con solo elevaciones o depresiones, estaríamos ante una onda codificada digitalmente, en la que solo habría dos valores, la mayor y la menor intensidad registrada codificadas mediante un 1 o un 0 en código binario, tal como ocurre en la transmisión de radio digital, o DAB-Digital Audio Broadcast en términos técnicos, todavía en proceso de implantación en nuestro país.

La radio que actualmente podemos sintonizar en nuestros receptores utiliza la transmisión analógica y hace uso de un tipo de codificación que puede ser de *modulación de amplitud*, AM, o de *modulación de frecuencia*, FM. Con una u otra estrategia de codificación, la señal eléctrica original de audio se transpone a un rango de frecuencias para su emisión, en el caso de cada emisora de radio particular en función de las que tiene concedidas por orden ministerial para emitir, y en las que nosotros la podremos sintonizar. Así, las distintas emisoras de radio se distribuyen a lo largo del espectro electromagnético asignado a estos usos sin que se produzcan interferencias entre ellas.

En la modulación de amplitud (AM), tal como podemos observar en el gráfico siguiente, se utiliza una señal portadora con una frecuencia determinada, a la que se suma la señal moduladora, es decir, la señal de audio original, dando como resultado una señal modulada en AM, que recoge en una frecuencia fija las diferencias de amplitud de la señal moduladora. Por el contrario, en la modulación de frecuencia (FM), la señal modulada mantiene la misma amplitud y se codifica la variabilidad de la señal moduladora haciendo variar la frecuencia.



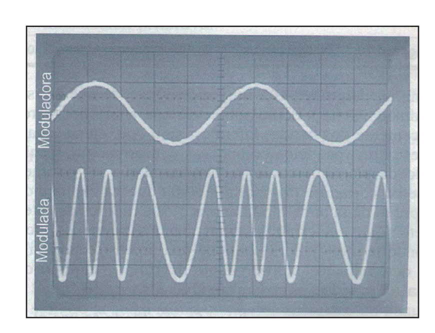




Ilustración 46. Modulación AM y FM

Una vez modulada la señal, es decir, codificada, se *transpone* a las frecuencias de emisión pertinentes para su distribución por ondas terrestres o satélite, atendiendo al sistema de distribución de frecuencias regulado y establecido a nivel nacional e internacional, de manera que cada emisión ocupa la frecuencia que tiene asignada para evitar interferencias entre unos operadores y otros.

TEMA 3

# Tecnologías de producción de imagen

Resumen

En este tema se van a tratar los fundamentos científicos de las tecnologías actuales utilizadas para la obtención de imágenes.

En primer lugar estudiaremos la luz como fenómeno de naturaleza física y perceptiva para, después, analizar en profundidad los principios de los sistemas tecnológicos desarrollados para la obtención, tratamiento y distribución de imágenes. Luego, analizaremos con detalle las características y prestaciones que nos ofrecen en la actualidad los equipamientos digitales de producción profesional audiovisual. Y, finalmente, concluiremos este tema con el estudio de las particularidades de la señal de vídeo y la tecnología de emisión de televisión.

## 3.1. Visión, luz y color

En nuestro día a día, estamos acostumbrados a hacer uso de nuestros sentidos de manera automatizada sin darnos cuenta de la diversidad de complejas actividades cotidianas que realizamos de manera inconsciente. Con toda naturalidad nos desplazamos por el espacio haciendo uso de nuestras cualidades físicas de bípedos erguidos, ejecutando movimientos musculares mecánicos que nos permiten dirigirnos hacia donde nuestra iniciativa nos guíe; utilizamos para ello los sentidos y así podemos sortear los obstáculos que podamos encontrar por el camino. Otras veces, por ejemplo, nos sentamos en el cómodo sofá de nuestro salón o en una sala cinematográfica y nos *sumergimos* en la ficción que las pantallas nos presentan mientras permanecemos inmóviles, dejando que nuestra imaginación camine al ritmo de la narración audiovisual.

Esta *inmersión* que nuestros sentidos nos permiten realizar, y disfrutar, en multitud de actos tan cotidianos está altamente automatizada y pocas veces nos paramos a pensar qué está ocurriendo para que estos actos aparentemente sencillos sean posibles, y en muy raras ocasiones ponemos en crisis la supuesta *naturalidad* con que los realizamos. Sin embargo, nuestra peculiar forma de relacionarnos con nuestro entorno no es, ni mucho menos, la única manera que hay en el reino animal de gestionar los estímulos externos, y hay muchas otras formas de hacerlo e incluso más efectivas. La naturaleza física de los fenómenos que perciben las distintas especies animales es la misma, pero cada una de ellas utiliza sistemas sensoriales distintos y, por lo tanto, la percepción del mismo fenómeno en las diversas especies animales es diferente. Sin necesidad más que de mirar un poco a nuestro alrededor, encontramos estrategias de adaptación al entorno en otras especies completamente distintas a las nuestras, basadas en pautas y sistemas perceptivos diferentes. En lo referente a la visión, tal como vamos a estudiar a continuación, nuestros órganos sensoriales –al igual que los de otras especies, pero de manera diferente como veremos– están adaptados para la exploración y percepción de un tipo particular de estímulos, las *ondas electromagnéticas*, lo que llamamos comúnmente la luz.

### 3.1.1. Naturaleza de la luz

La luz es un fenómeno que ha maravillado a todas las civilizaciones desde antiguo, pero no fue hasta el siglo XVII cuando Isaac Newton comenzó a estudiar científicamente la física de la luz. Según sus teorías, ya superadas, la luz se podía entender como un fenómeno de naturaleza mecánica en el que unas partículas luminosas, o corpúsculos (de ahí el nombre de *teoría corpuscular*, con el que se conocen sus ya superadas propuestas), se desplazaban por el espacio en línea recta hasta llegar a los órganos de la visión. Su concepción teórica explicaba bien los fenómenos de reflexión de la luz, pero resultaba insuficiente para entender otros aspectos relativos a su forma de desplazamiento y naturaleza que otros científicos, algunos años después, intentaron comprender a partir del estudio de Newton sobre la forma en que se distribuía y desplazaba la energía luminosa en el espacio vacío. Entre ellos, Huygens y Young, quienes determinaron que este desplazamiento se realiza-

ba en forma de ondas sinusoidales de frecuencia periódica que portaban energía. A partir de ello, desarollaron una teoría de la luz llamada *teoría ondulatoria*, que se impuso rápidamente entre los círculos científicos. Otro investigador, Maxwell, un poco después, integró estas investigaciones sobre las ondas luminosas en las que él mismo venía realizando sobre el magnetismo, y concluyó que la luz visible era un fenómeno de naturaleza electromagnética, referido a una reducida región o grupo de longitudes de onda del conjunto de ondas que conformaban el espectro electromagnético. Más tarde, y retomando las teorías de Newton, Planck explicó la forma en que se transmitía la energía luminosa con su *teoría cuántica*, concluyendo que lo hacía en forma de minúsculos *cuantos* de energía, a los que se dio el nombre de *fotones*. De Brooglie, poco después, proporcionó una teoría que integraba todo el conocimiento acumulado al respecto hasta entonces, llamada *mecánico-ondulatoria* y que sigue siendo la teoría vigente en nuestros días, según la cual la luz estaría formada por fotones de energía que interactúan con la materia y se propagan mediante ondas electromagnéticas a una velocidad de $2.998 \times 10^8$ metros por segundo en el vacío. En el aire la velocidad de propagación es casi idéntica, pero en el agua se reduce a unos 3/4, y en el vidrio aproximandamente a 2/3, y, como veremos a continuación, con esta teoría se explican bien los fenómenos de absorción, reflexión, refracción y transmisión de la luz cuando se desplaza a lo largo del espacio e interactúa con la materia existente.

#### *3.1.1.1. Ondas electromagnéticas y luz visible*

Las ondas que viajan en el vacío a la misma velocidad que la luz visible forman parte del tipo de ondas que por sus propiedades se denominan *ondas electromagnéticas*. Se describen como ondas transversales puesto que vibran en ángulos rectos con respecto a su dirección de propagación.

Como se puede observar en el gráfico, una onda electromagnética vibra en dos planos: en el eje Y se distribuye la energía del campo eléctrico y en el eje Z, la del campo magnético. La distancia existente entre dos puntos sucesivos de vibración en una onda se denomina *longitud de onda* (representado por la letra lambda, λ), y la intensidad electrica con que vibra en el eje Y se denomina *amplitud*.

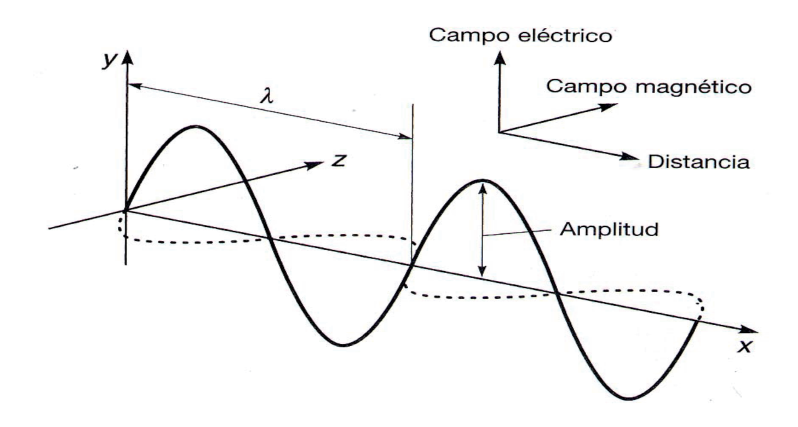



Ilustración 47. Onda electromagnética

El número de ondas que pasan por un punto determinado a lo largo de un segundo es la *frecuencia* de vibración (que se simboliza con la letra nu, ν), y de este modo, la velocidad (representada por *c*) se relaciona con la frecuencia y la longitud de onda de la siguiente manera: $c = \nu\lambda$. Es decir, como la velocidad de desplazamiento siempre es constante, $2.998 \times 10^8$ en el vacío, al aumentar la longitud de onda necesariamente disminuye la frecuencia de vibración, y viceversa, al disminuir la longitud de onda se produce un aumento de la frecuencia. De esta manera, se pueden caracterizar las ondas en el seno del espectro electromagnético según su longitud de onda o su frecuencia, indistintamente, tal como podemos ver a continuación:

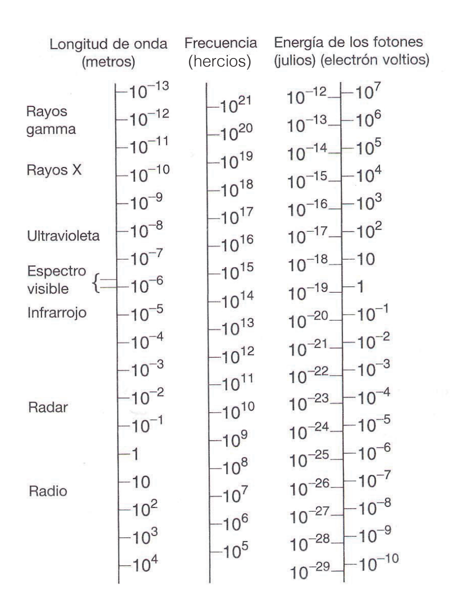



Ilustración 48. Espectro electromagnético (R. Jacobson)

Como se puede observar, la parte visible del espectro solo la conforman un pequeño grupo de ondas cuyas longitudes están comprendidas, aproximadamente, entre los 400 y los 700 nanómetros. Entre las longitudes de onda menores podemos encontrar los rayos X y gamma, y entre las mayores desde el radar a las longitudes de onda que se utilizan para la radiodifusión sonora. Nótese que la cantidad de energía electromagnética varía también en función de la longitud de onda, siendo mayor a medida que la longitud de onda es menor.

El espectro visible, visto con detalle, podemos subdividirlo de manera que cada longitud de onda corresponda aproximadamente a un color percibido por nuestros órganos de la vista en una gradación continua que va desde los azules (400-500 nm), pasando por los verdes (500-600 nm) hasta llegar a los rojos (600-700 nm). En el gráfico se incluyen también las regiones ultravioleta, anterior a los 400 nm y denominada UV, e infrarroja, posterior a los 700 nm y llamada IR, que aunque invisibles a nuestra percepción son de gran interés y utilidad a efectos fotográficos.



Índice

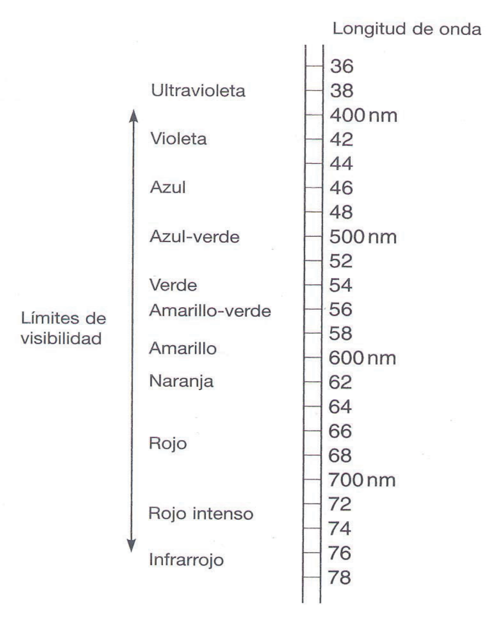



Ilustración 49. Luz visible (R. Jacobson)

### *3.1.1.2. Interacciones de la luz y la materia*

Las ondas electromagnéticas interaccionan con el medio a través del que se desplazan, y su energía disminuye en función de las características de la materia que conforma este medio, al tiempo que provoca sobre él efectos fisicoquímicos. De este modo, la energía electromagnética al interaccionar con la materia puede ser absorbida, reflejada o transmitida, y lo habitual es que se produzcan todos los fenómenos de manera simultánea en distintas proporciones. La absorción de energía electromagnética provoca efectos sobre la estructura de los átomos dando lugar a reacciones fisicoquímicas comúnmente asociadas a reacciones en forma de calor y electricidad.

Cuando las ondas electromagnéticas se transmiten o reflejan de manera directa o difusa, se producen variaciones sobre la trayectoria de la onda incidente y siempre se absorbe parte de su energía. Si la onda es transmitida, se producen efectos sobre la velocidad y la trayectoría de las ondas portadoras de energía electromagnética en función de las características del medio que atraviesa, y disminuye su velocidad y sufre desviaciones en mayor o menor grado, llamadas *refracciones*, en función del denominado *índice de refracción* del medio, cuyo valor depende de su densidad y su estructura atómica. El *índice de refracción* de un medio se calcula a partir de la *ley de Snell*, según la cual el ángulo que forma sobre el eje óptico el rayo incidente y el refractado es el mismo y, por tanto, si asumimos que el aire tiene un índice de refracción de 1, el índice de refracción de un medio distinto al aire, $n_2$, viene determinado por la relación entre el ángulo incidente y el refractado. De este modo, y tal como vemos a continuación, cualquier material más denso que el aire tiene índices de refracción mayores y, por tanto, se produce una mayor desviación en la trayectoria de los rayos que inciden sobre él, lo cual es de importancia crítica cuando se diseñan sistemas ópticos para las equipos de captación de imagen. Un

fenómeno que, sin ir más lejos, podemos observar cuando estamos en una piscina con parte del cuerpo sumergido y al mirar a través del agua lo vemos absolutamente distorsionado, debido precisamente al alto índice de refracción del medio acuático.

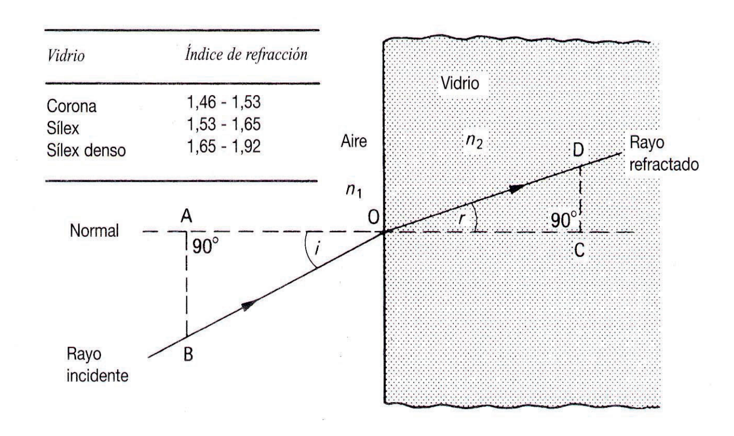



Ilustración 50. Refracción. Ley de Snell (R. Jacobson)

El índice de refracción en el mismo medio varía también para cada longitud de onda, produciéndose una desviación mayor en las longitudes de onda menores, en el caso de la luz visible las correspondientes a los azules, y menor para las longitudes de onda mayores, los rojos. Esta particularidad se encuentra en el origen de la formación del arco iris, cuyo misterio y belleza residen, precisamente, en la dispersión de colores que se produce por la distinta refracción que sufre cada una de las longitudes de onda que conforman la luz solar al atravesar la infinidad de diminutas gotas de agua que se distribuyen por la atmósfera e interponen a modo de microprismas a la visión del maravillado observador.

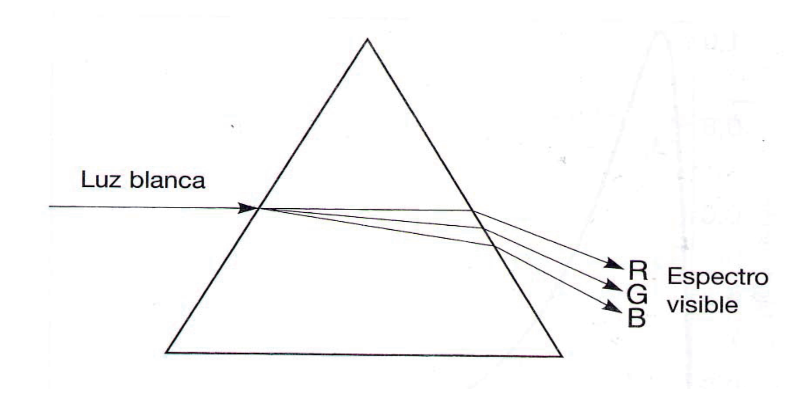



Ilustración 51. Prisma de Newton

Es decir, en función del medio que atraviesan las ondas electromagnéticas, varía su velocidad y su trayectoria, y ello vendrá determinado por el propio índice de refracción del medio y, también, por el ángulo de incidencia y la particular forma geométrica que este medio tenga y siempre, y en todo caso, parte de la energía de los rayos incidentes será absorbida por el propio medio.

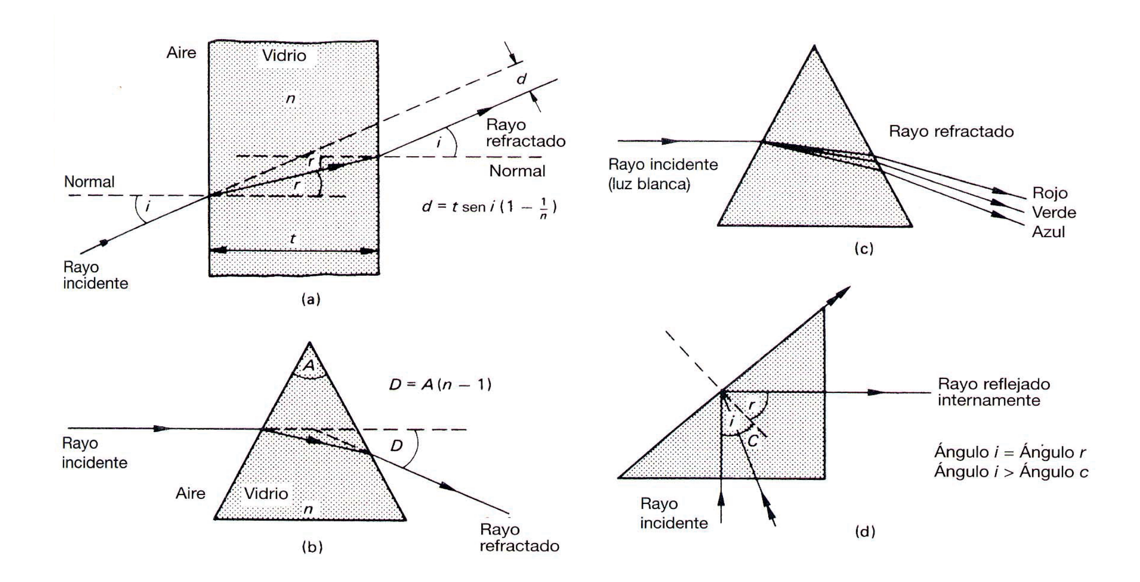



Ilustración 52. Refracción de la luz (R. Jacobson)

De este modo, tal como vemos a continuación en un esquema de lentes simples, si la luz se transmite a través de un vidrio de caras no paralelas, o lo que es lo mismo, de un vidrio en forma de lente convergente (*a*) o divergente (*b*) que podemos concebir formada por una sucesión de prismas, podemos conseguir que un conjunto de puntos de luz forme una imagen idéntica de sí misma haciendo coincidir en otro lugar, llamado *plano focal* ($P_2$, $P_3$), las diferentes desviaciones en la trayectoria de las ondas luminosas que conforman cada punto.

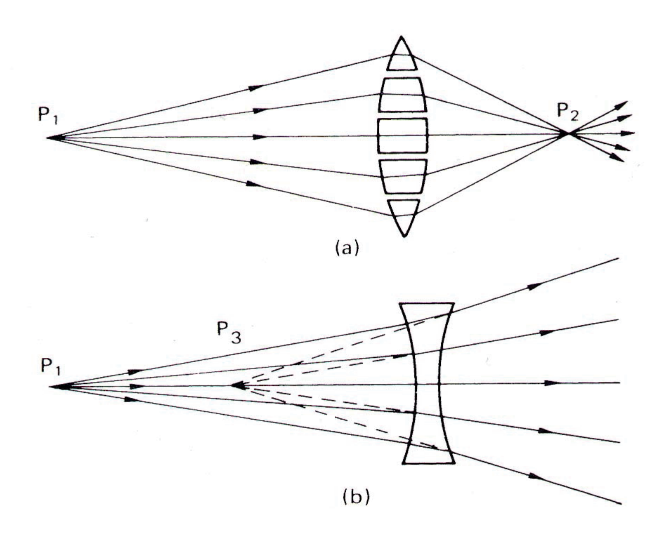



Ilustración 53. Lente convergente y lente divergente (R. Jacobson)

En el caso de la lente convergente, cada punto de luz hipotético se *enfoca* en la parte posterior del vidrio y, justo en ese plano, es cuando conseguimos tener la imagen enfocada en cualquier sistema de captación de imagen de los que utilizamos cotidianamente. La lente divergente, por su parte, forma el foco en un plano virtual en la parte anterior del vidrio y, aunque por sí misma no serviría para usos

en sistemas de captación, en combinación con otras lentes se conforman sistemas ópticos integrados que permiten, por ejemplo, la construcción de objetivos tipo *zoom*, como el que vemos a continuación. Cualquier otro objetivo para cualquier equipamiento de imagen siempre se diseña con un conjunto más o menos complejo de lentes y contemplando las leyes básicas de la óptica, entre las que se encuentran las relativas a la refracción que venimos comentando.

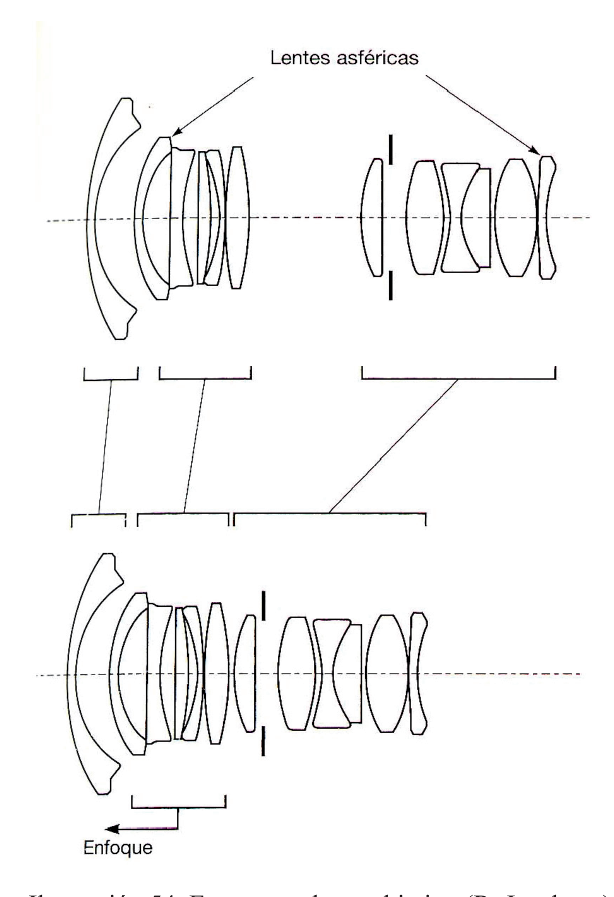



Ilustración 54. Estructura de un objetivo (R. Jacobson)

La utilización de sistemas ópticos en los equipamientos audiovisuales es usual y necesaria pero es una mejora tecnológica que solo se adaptó a los tecnologías de captación de imagen hace unos siglos. Desde tiempos inmemoriales era conocido que, como la luz viaja en línea recta, cuando pasa a través de un pequeño agujero, llamado *estenopo*, forma una imagen invertida vertical y horizontalmente en la parte posterior. La formación de imágenes por este método está muy limitada en cuanto a definición, que solo es óptima cuando el diámetro del estenopo (K) es aproximadamente $K = \sqrt{\nu}/25$, donde $\nu$ es la distancia entre el estenopo y la pantalla posterior. Este es el principio sobre el que funciona cualquier equipamiento de captación de imagen, la formación de la imagen invertida en el plano posterior, el plano focal.

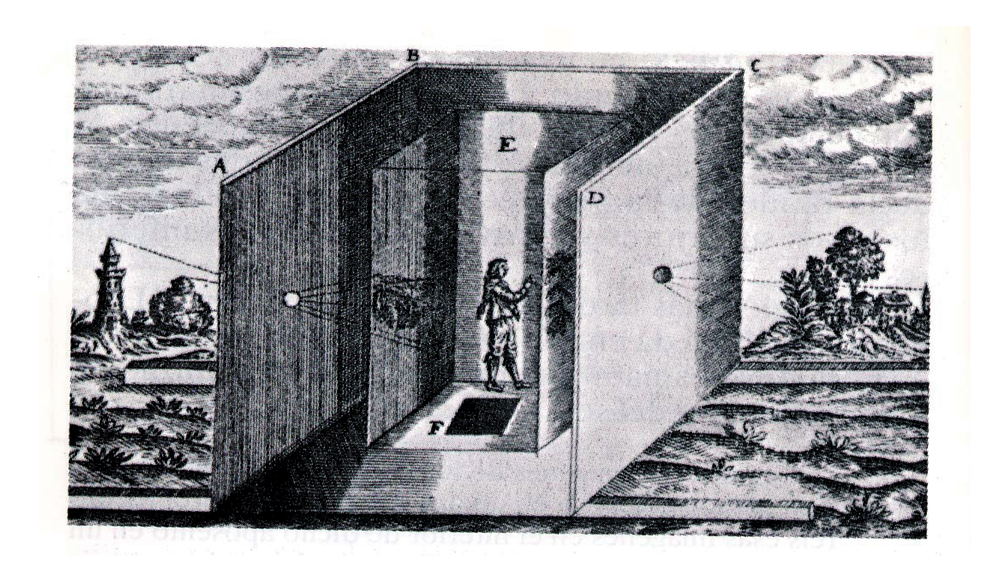



Ilustración 55. Cámara oscura de Kircher, 1646 (M.-L. Sougez)

Conocer estas particulares características, que determinan el comportamiento de la luz visible, en tanto que energía en forma de onda electromagnética que al desplazarse interacciona con la materia produciéndose cambios en su trayectoria y sobre la propia materia, es primordial para entender los principios que fundamentan la tecnología creada para la obtención de imágenes que, como veremos a continuación, está desarrollada como un artificio útil para la exploración de ondas electromagnéticas visibles, que tiene muchas similitudes con los mecanismos biológicos que nos permiten de manera natural percibir el entorno a través de nuestro órgano de la visión, es decir, de nuestros ojos.

## 3.1.2. Visión y percepción

La percepción del mundo que nos rodea es un proceso de orden cognitivo superior que implica la recepción y el tratamiento de las muestras sensibles del entorno que llegan a nosotros a través de nuestros sentidos. Por tanto, la percepción es un proceso mediado por las particulares características fisiológicas de nuestros órganos sensoriales y por el específico procesamiento que nuestro cerebro hace de los estímulos perceptivos.

Como hemos visto, nosotros percibimos como visibles solo aquellas longitudes de onda que se encuentran en la región del espectro electromagnético que va desde los 400 a los 700 nm, debido a la particularidad de las células receptoras de luz de nuestros ojos, una característica de nuestra visión que no comparten otras especies animales. Por ejemplo, es diferente la respuesta a la luz en monos y gatos, tal como probaron Hubel y Wiesel, y que les valió el premio Nobel en Fisiología y Medicina en 1979. La visión es muy diferente de unas especies animales a otras. Para las arañas el campo visual es mucho mayor que para nosotros, ya que poseen varios pares de ojos repartidos de manera esférica; las aves rapaces, por su parte, poseen una capacidad de enfoque a larga distancia muy superior a la nuestra gracias a la

específica estructura de sus órganos visuales, fruto de su particular adaptación al entorno.

### *3.1.2.1. El ojo humano y la visión*

Tal como se puede observar en el gráfico siguiente, podemos analizar con detalle la estructura de nuestros ojos. El globo ocular tiene forma esférica y es básicamente una caja oscura de un tejido denso blanco y opaco, con un sistema de lentes conformado por la córnea y el cristalino, que enfoca los rayos sobre la retina al fondo del globo, donde se forma la imagen invertida del objeto visible. El iris controla la cantidad de luz que entra en el ojo, de manera que se abre totalmente cuando hay poca luz y se cierra más o menos ante estímulos luminosos intensos; así se regula la cantidad de luz que llega a la retina, formada por receptores sensibles a la luz, y así se adecua el flujo luminoso a los umbrales mínimos y máximos de energía sobre los que estos receptores pueden operar para captar los estímulos sin ser dañados.

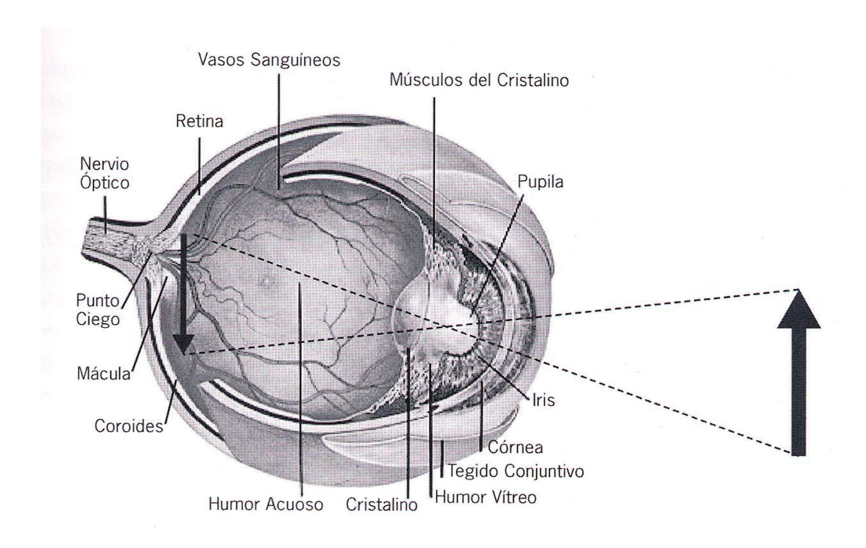



Ilustración 56. Estructura del ojo (Pérez y Zamanillo)

Los receptores visuales de la retina son un tipo de células que tienen forma de cono o de bastón y contienen pigmentos que cambian su forma estructural al estar en contacto con la luz. Como resultado de estos cambios percibidos, y al igual que ocurre con el resto de órganos sensoriales, se generan impulsos eléctricos que llegan hasta nuestro cerebro, a través del nervio óptico en el caso de la visión, formado por alrededor de un millón de fibras nerviosas, para su procesamiento cognitivo.

El globo ocular tiene un diámetro de alrededor de 24 mm. Cuando el iris está totalmente abierto, su diámetro de apertura es de unos 8 mm aproximadamente, y si está cerrado de hasta de 1,5 mm, lo cual significa, en términos de equipamientos ópticos para la captura de imagen, que nuestros ojos equivalen a un objetivo con apertura de diafragma que oscila entre f2 y f11, y con una distancia focal de 16 mm.

*3.1.2.2. Discriminación de la luminosidad*

Los dos tipos de células que encontramos en la retina, los conos y los bastones, fueron descubiertos por Schulze en 1886 y se diferencian entre ellos, además de por su particular forma que les da nombre, porque tienen distintos pigmentos y responden de manera diferente a los estímulos visuales. Los conos responden a intensidades luminosas moderadas y altas, y se han contabilizado alrededor de 6 millones que se distribuyen alrededor de la fóvea, en el eje de la visión; los bastones, por su parte, se activan en condiciones de baja luminosidad y hay aproximadamente unos 120 millones de bastones en la retina. Los 126 millones de células receptoras totales, entre conos y bastones, se agrupan por medio de otras células que integran sus impulsos y los hacen llegar a los nervios ópticos de manera que, aproximadamente, cada 126 células receptoras se unen en torno a un único nervio óptico. Se ha demostrado, también, que cada neurona transmisora del nervio óptico requiere alrededor de 1 milisegundo para recuperarse de la conducción, pudiendo de este modo emitir tasas máximas de 500 a 800 impulsos por segundo.

La forma en que las células retinianas responden a los incrementos de intensidad luminosa es un fenómeno bien conocido y se sabe que, al contrario de lo que podría parecer, los estímulos no se perciben de manera proporcional a su intensidad física sino de manera logarítmica. Así lo probaron experimentalmente Webber y Fechner, quienes demostraron que la duplicación de la intensidad luminosa no duplica el brillo percibido, sino que se ha de elevar al cuadrado para percibir tal diferencia como el doble de luminosidad, tal como muestra el gráfico siguiente en el que cada banda de gris no es el doble sino el cuadrado de la anterior.

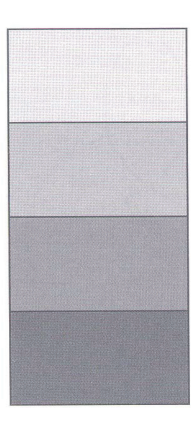


Ilustración 57. Ley de Webber-Fechner

La diferente forma en que las dos células receptoras actúan frente a la intensidad luminosa también es bien conocida y los efectos sobre la visión son fácilmente comprobables cuando nos fijamos, por ejemplo, en la forma en que se adapta nuestra visión a la oscuridad. Esta operación de ajuste nos lleva aproximadamente entre 7 y 10 minutos, el tiempo necesario para que los bastones actúen con sus máximas prestaciones, es decir, a su máxima sensibilidad. Cuando esto ocurre, la diferente sensibilidad de cada una de las células a los colores nos hace ver el entorno de manera distinta, produciéndose el fenómeno denominado desviación

de Purkinje, en honor de su descubridor. Así, se habla de visión fotópica o diurna, cuando actúan los conos y los bastones en condiciones de luminosidad óptima, y de visión escotópica o nocturna, cuando solo actúan los bastones en situaciones de baja luminosidad; en este caso se produce un desplazamiento en la sensibilidad a las distintas longitudes de onda hacia la región del azul, tal como podemos ver en el gráfico, y que podemos comprobar cualquier noche viendo desplazarse los colores ante nuestros ojos hacia los azules.

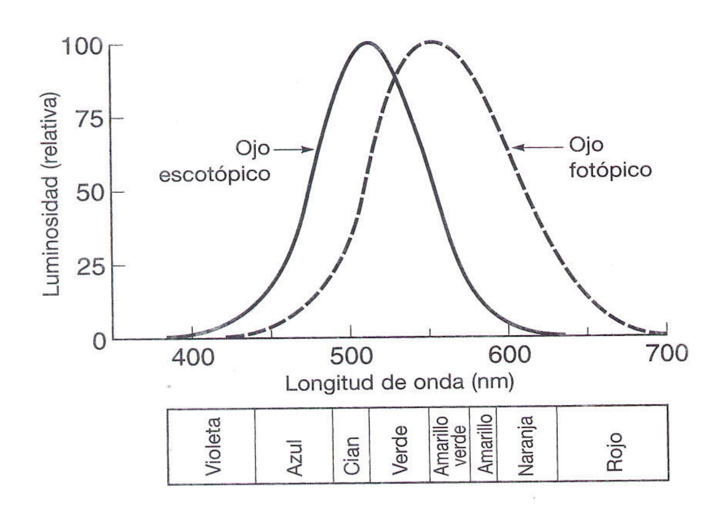



Ilustración 58. Desviación de Purkinje

### *3.1.2.3. Percepción del color*

En el estudio de la forma en que percibimos el color son pioneros los trabajos del propio Newton, quien observó en 1666 cómo la luz blanca se descomponía a través de un prisma en todos los colores del espectro y, con ello, dedujo que en la luz blanca estaban integradas las longitudes de onda correspondientes a todos los colores. Young, en 1802, y Hemholtz, en 1852, experimentaron con la suma de luces proyectando varios colores sobre un mismo espacio para intentar obtener luz blanca y así poder precisar cuál era su composición. A partir de sus investigaciones se desarrolló la denominada *teoría tricomática del color*, que determina que hay tres colores primarios o fundamentales a partir de los cuales se pueden obtener, por adición, el resto de colores del espectro, incluido el blanco, que se formaría con la proporción 0,30 de rojo, 0,59 de verde y 0,11 de azul.

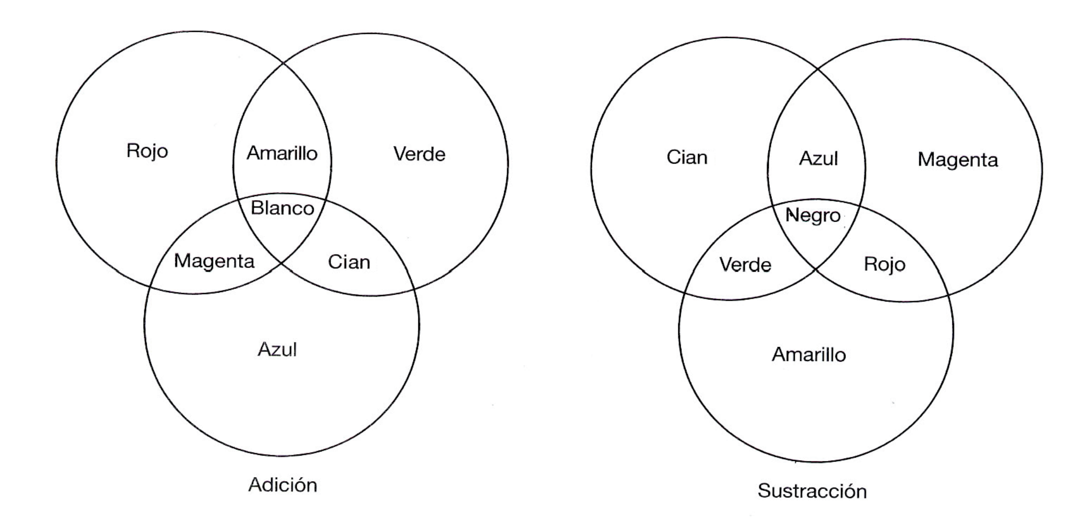



Ilustración 59. Formación del color en método auditivo (izq.) y sustractivo (der.) (R. Jacobson)

Con los llamados colores complementarios, suma de dos colores primarios (rojo + verde = amarillo, azul + rojo = magenta y azul + verde = cian), y por sustracción o resta a la luz blanca, se puede obtener igualmente toda la gama cromática. En el caso de la mezcla de colores por adición, si proyectamos una luz roja y otra verde y las intersectamos, la mezcla de ambas nos crearía un color amarillo, cuya saturación y tono particular dependerán de la intensidad de cada una de las luces primarias; si sumásemos otra luz azul en la proporción adecuada podríamos obtener blanco, y cualquier otro color variando la intensidad de cada una de las luces componentes. Por otro lado, si interponemos a la luz blanca un filtro amarillo, que absorbe los azules y solo transmite las longitudes de onda correspondientes a los colores verdes y rojos, y otro magenta, que solo deja pasar las luces azules y rojas, el resultado de la sustracción o absorción de los colores respecto a la luz blanca sería el rojo, único color que se transmitiría con esa combinación de filtros amarillo y magenta.

El espectro de absorción de los bastones, que representan el 99 % de las células pigmentadas de la retina, se había intentado medir sin mucho éxito por primera vez en 1877, y hubo que esperar muchos años a que Wald y Brown determinaran, ya en el año 1958, cómo veíamos exactamente el color y cuáles eran las bases fisiológicas de la visión. La medición del espectro de absorción de los conos hubo de esperar todavía más, y solo fue posible recientemente, en 1964, cuando se desarrolló suficientemente la tecnología de análisis espectral conocida como microespectrofotometría. Con estas investigaciones, se demostró que en las células retinianas había tres tipos de pigmentos que tenían espectros de absorción diferentes (longitudes de onda de 435 nm, 535 nm y 565 nm), es decir, fisiológicamente adaptados para percibir esas longitudes particulares de onda. La particular absorción de energía de cada uno los tres pigmentos se combina en una específica curva de respuesta espectral ante distintas situaciones de iluminación que intenta tender a la estabilidad perceptiva. Es decir, nuestra percepción intenta siempre normalizar su respuesta cromática a los estímulos tendiendo a adaptarse para que la percepción cromática esté en el entorno del color blanco, aunque haya diferen-

cias en la energía de cada uno de los colores primarios que lo conforman, en una curva de respuesta similar a la que se ve a continuación, suma de los tres colores.

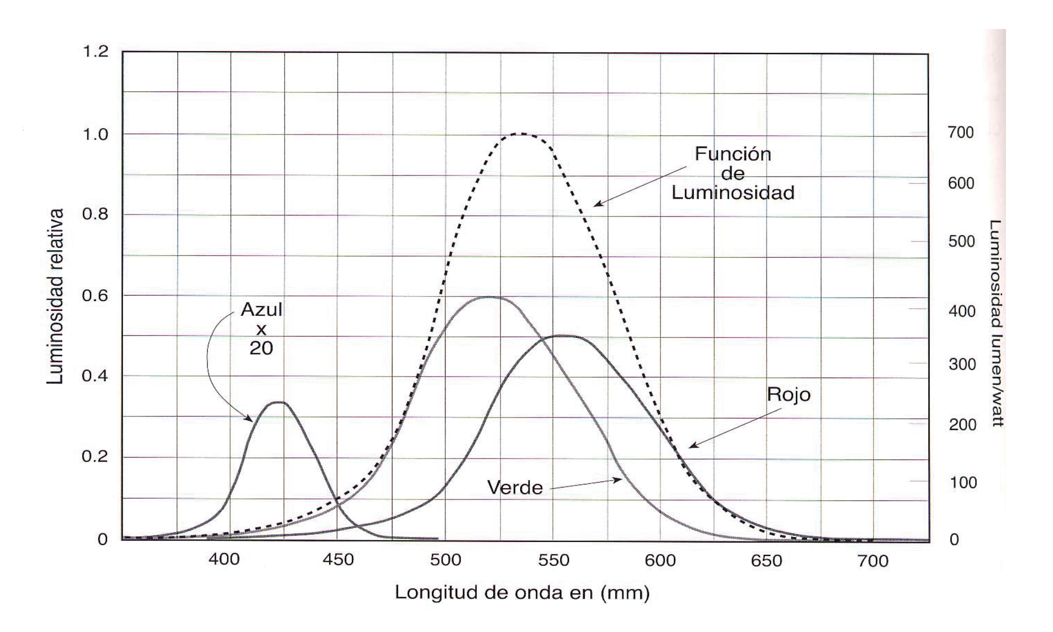



Ilustración 60. Sensibilidad espectral humana

Como se puede ver, la sensibilidad relativa de cada uno de los tres pigmentos receptores es diferente y, además, se adapta en torno a esta curva normalizada en relación con la situación de iluminación, aspecto que podemos comprobar fácilmente cuando transitamos del exterior soleado a una habitación interior iluminada con una bombilla convencional. Al entrar a la habitación veremos que todo el ambiente lumínico está bañado por una luz naranja, la de la bombilla, ya que así realmente es la distribución energética que percibimos, en el que las ondas correspondientes a los rojos son más intensas por la particular emisión de energía de la bombilla en esa parte del espectro electromagnético. Pero pasados unos minutos, veremos todo el espacio iluminado por una luz algo más blanca, aunque obviamente la bombilla sigue proporcionando la misma calidad de color naranja al espacio que percibimos.

Esta particular adaptación perceptiva al blanco de nuestra visión, es la causa de que los equipos de captación de imágenes deban integrar controles para realizar el llamado *balance de blancos*. Es decir, es necesario que, independientemente de la intensidad de cada longitud de onda particular que conforma el espacio lumínico, se realice una corrección similar a la que hace nuestra percepción, para que los equipos de captación registren un blanco similar al que nosotros vemos, no el color anaranjando, como en este ejemplo, que emana de la bombilla e ilumina el espacio con esa tonalidad, sino el color tendente al blanco que vemos después del proceso adaptativo que es propio a nuestra percepción visual.

Por otro lado, y en cuanto a la capacidad que tenemos de discriminación de los colores, en experimentos realizados al efecto se ha determinado que un observador normal puede nombrar alrededor de 150 colores base, pero que aun sin tener términos

lingüísticos para denominar los colores llegamos a discriminar perceptivamente hasta 7 millones. El número máximo de colores diferentes que se han conseguido denominar asciende a 7.500 vocablos, en un estudio realizado por el National Bureau Standars, aunque la mayoría de ellos eran poco usuales o desconocidos para la mayoría de las personas que participaron en el estudio. Se ha demostrado, también, que son muchos los mamíferos que no perciben el color tal como lo hacemos nosotros, o lo hacen de manera mínima (los gatos, por ejemplo, son dicromáticos, tal como mostraron Mello y Peterson en 1964), y que la mejor visión en color entre los mamíferos no humanos la tienen nuestros antecesores los monos.

Durante el proceso de percepción de los colores se suceden varios efectos neuropsicológicos que hacen variar la naturaleza de lo percibido respecto al estímulo original. Uno de ellos, por ejemplo, el llamado *efecto del área circundante*, provoca que un color se vea distinto en función de si está rodeado de uno u otro color. De igual manera, se ha demostrado que la memoria del color afecta a su percepción y si, por ejemplo, un objeto siempre es de un color típico, como una manzana roja, si de pronto el objeto deja de presentarse en ese color, el nuevo no es percibido en toda su dimensión, sino que su matiz se desplaza, en este caso de ejemplo hacia el rojo de la manzana prototípica. La visión de los colores también puede verse afectada por problemas puramente fisiológicos, de modo que nos podemos encontrar con personas dicromáticas, tricromáticas anómalas o, incluso, monocromáticas, de las que se calculó que hay hasta diez individuos por cada millón, según estudió Legrand en el año 1957. Individuos que, además, son muy sensibles a las luces intensas y tienen poca agudeza visual, ya que los únicos receptores funcionales de que disponen son los bastones y estos se ven desbordados ante una excesiva luminosidad constante que han de procesar. Además de los problemas al percibir los colores en nuestros órganos de la visión, también se pueden producir problemas relativos al enfoque, tales como los fallos de acomodación, miopía, hipermetropía, astigmatismo, cataratas, degeneración macular o lesiones en el nervio óptico, que afectan sin duda a gran parte de la población.

#### *3.1.2.3. La imagen tridimensional y el movimiento*

La percepción del mundo tridimensional desde la imagen bidimensional que se forma en la retina se realiza a partir de varias estrategias psicológicas y es vital para entender el modo en que integramos nuestra cotidianeidad en el mundo físico a partir de los estímulos que reciben nuestros sentidos.

Entre otras, utilizamos estrategias cognitivas como la superposición de fondos y figuras, con lo cual podemos establecer espacios virtuales entre los distintos planos superpuestos. La diferencia de tamaño o altura relativa de los objetos, nos permite realizar cálculos basados en la experiencia en relación a la profundidad a que se encuentra cada uno de ellos. Otra estrategia, la llamada perspectiva aérea, nos facilita distinguir distancias teniendo en cuenta que los objetos más lejanos se ven habitualmente menos nítidos por la difuminación que provoca el aire. Igualmente, utilizamos la memoria para adecuar el tamaño de los objetos al más familiarmente

conocido. Y también procesamos la información visual basándonos en la perspectiva lineal, muy aplicada en pintura y arquitectura desde que en 1435 Alberti propusiera el uso de la *perspectiva artificialis*. La convergencia de líneas en el infinito proporciona una idea de la distancia a que se encuentran los objetos a partir de sus razones geométricas; o utilizando el llamado *paralaje de movimiento*, podemos distinguir las tres dimensiones en objetos móviles, de manera que cuando el observador camina más lejos o más cerca el objeto pasa más rápido o más lento por su retina, permitiendo calcular igualmente la distancia a que se encuentra. Se cree, también, que la actividad de los músculos oculares para la acomodación y convergencia focal envía datos al cerebro para el procesamiento espacial, aunque no está demostrado en toda su extensión, pero sí es conocido que la disparidad angular derivada de la visión binocular; dicho de otro modo, el diferente campo de visión de cada uno de los ojos es determinante para percibir la profundidad espacial y las tres dimensiones, así como también juegan en ello un papel fundamental la luminosidad y las texturas de las superficies que conforman el campo de visión.

En cuanto al movimiento, este se detecta utilizando también varias estrategias perceptivas de las que ni nos damos cuenta, y que están en la base de los procesos cognitivos más fundamentales. Por ejemplo, cómo el objeto se mueve a lo largo de la retina mientras los ojos permanecen inmóviles, o incluso si también los ojos siguen el movimiento. Este desplazamiento relativo del sujeto que va estimulando progresivamente diferentes grupos de células retinianas de manera sucesiva y lineal siguiendo la dirección del propio movimiento permite su percepción como tal. También, como los objetos se mueven respecto a un fondo que permanece invariable es, por tanto, fácil detectar el objeto móvil por simple comparación de estímulos. Estas estrategias perceptivas, aparentemente tan burdas, están, igualmente, en la base de los sistemas robotizados que intentan detectar el movimiento mediante algoritmos informáticos y equipamientos tecnológicos que se muestran muy útiles para fines industriales o de otra índole.

Se ha demostrado, asimismo, que si un punto luminoso se mueve en la retina en lapsos inferiores a 30 veces por segundo se percibe de manera individualizada en cada una de las sucesivas posiciones; si se mueve con lapsos que oscilan entre 30 y 60 veces por segundo se empieza a notar un movimiento parcial aunque no continuo; cuando cada punto de luz oscila entre las 60 y 200 veces por segundo se percibe como casi una línea de puntos superpuestos; si se produce el movimiento en lapsos de más de 200 veces por segundo no se percibe más que una línea compacta, sin movimiento alguno. Si este período es de 60 veces por segundo el movimiento se percibe como óptimo y si se tratase, por ejemplo, de distintos dibujos que representan el galope de un caballo, se acaban por rellenar los huecos entre cada una de las imágenes del caballo y se percibe la ilusión del recorrido de sus patas, aunque no esté dibujado más que en 60 dibujos sucesivos.

El efecto psicológico que permite la percepción del movimiento, es decir, la ilusión del movimiento en función de la determinada cadencia con que se suceden las imágenes, se denomina efecto *phi*, y es la estrategia fundamental utilizada en el desarrollo de tecnologías para la creación de imágenes en movimiento.

Esta cualidad de la percepción visual está en los fundamentos de la cinematografía, donde las imágenes se suceden con una cadencia de 24 por segundo, o la televisión convencional, en que lo hacen a una velocidad de 25 por segundo. Ambas tecnologías son herederas de inventos como el *praxinoscopio*, que vemos a continuación, que explotaba este efecto en ferias y exhibiciones hacia finales del siglo XIX proyectando secuencias de imágenes fijas con iluminación de una lámpara posterior, haciendo las delicias de aquellos públicos ávidos de nuevas experiencias espectaculares.

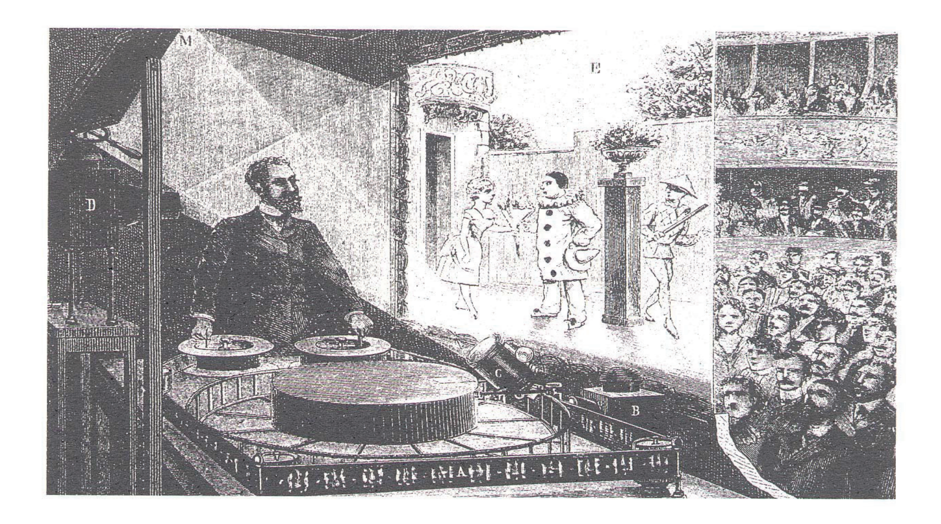


Ilustración 61. Praxinoscopio

En conclusión, y para terminar, todos estos fenómenos y estrategias que fundamentan nuestra percepción, y de las que la mayoría de las veces no somos conscientes, son, sin duda, de importancia capital en el diseño de los equipos audiovisuales. El gran reto de las tecnologías para la obtención y tratamiento de imágenes, fijas o en movimiento, es hacer eficiente la percepción de los estímulos físicos y adecuarlos a nuestra propia percepción sensorial, además de trascender las limitaciones espaciotemporales que impone nuestra biología, tal como ya estudiamos en temas anteriores. La gran dificultad en el diseño de estos equipos audiovisuales reside en que cada tecnología audiovisual que desarrollamos debe contemplar las importantes diferencias existentes entre lo que percibimos y los estímulos físicos sobre los que construimos nuestra percepción. Al igual que nuestros propios órganos perceptivos, los sistemas y equipamientos tecnológicos están también sujetos a limitaciones y condicionantes impuestos por sus propias características físicas y forma de construcción, como iremos viendo.

### 3.1.3. Fuentes de luz

Tal como venimos estudiando, aquello que hace posible la visión, y en general el registro de imágenes, es la luz, definida como un fenómeno físico de naturaleza ondulatoria que implica el desplazamiento de energía electromagnética a través del medio. La fuente de emisión por excelencia de energía electromagnética es el

sol, responsable del suministro energético primario a nuestro planeta y de la regulación de los ciclos vitales.

Pero la energía que proporciona el sol no está disponible en todo momento ni con igual intensidad, y su utilización puede resultar difícil e ineficiente ya que no podemos controlarla en función de nuestras necesidades; solo nos queda adaptarnos a sus características particulares en cada momento. A la luz solar, como a cualquier otra fuente de luz, podemos interponerle en su trayectoria de desplazamiento artefactos que la reflejen, para dirigirla en otra dirección y poder aprovecharla en otro lugar; u otros que la desvíen o refracten, para descomponerla en sus colores integrantes, así como para dispersar o concentrar su energía. También podemos interponer a la luz solar artefactos que absorban total o parcialmente su energía, para disminuir su intensidad lumínica; o, también, variar sus características espectrales mediante su filtrado. Finalmente, podemos hacerla incidir sobre soportes materiales en los que se produzcan cambios en función de la luminosidad recibida y que, además, sean perdurables, haciendo así posible el registro de imágenes.

En cualquier caso, para el registro de imágenes, necesitamos energía luminosa, y la del sol, aunque abundante, suele ser muy poco práctica para la producción profesional, pues no podemos disponer de ella cuando decidamos, ni elegir sus características espectrales; por ello, se utilizan tecnologías de producción de energía luminosa que permitan trascender estas limitaciones.

Para evitar esta dependencia del sol en nuestras actividades cotidianas, se han venido experimentando e implantando desde tiempos inmemoriales tecnologías destinadas a la obtención de energía, y especialmente, entre otras, las dedicadas al desarrollo de equipamientos para la producción de luz artificial. Entre los métodos de producción de luz más utilizados se encuentran, en orden cronológico de implantación, los siguientes:

- Combustión: algunos tipos de materiales de características moleculares específicas al calentarlos mecánicamente por frotamiento, o utilizando una fuente de calor externa, experimentan cambios catastróficos en sus átomos. Estas alteraciones estructurales provocan la generación de energía electromagnética y calorífica en un rango de frecuencias que la hacen visible. Velas, aceite, cerillas y magnesio son materiales comunes para generar luz y calor.

- Incandescencia: hay otro tipo de materiales que son conductores eléctricos y transforman con cierta eficiencia la resistencia que ofrecen al paso de la electricidad en energía luminosa. Así, por ejemplo, insertando un filamento de tungsteno en un cristal, es decir, construyendo una bombilla, se empezó a utilizar la resistencia que este filamento oponía al paso de la electricidad para generar luz. Las bombillas clásicas de tugsteno evolucionaron hacia 1950 con el uso de nuevos materiales y se acabó por diseñar un nuevo modelo de lámpara basado en gases halógenos que mejoraba sustancialmente las prestaciones lumínicas y la eficiencia energética, dando lugar a las actuales bombillas halógenas, con mayor vida útil, y de las que se obtiene además

una luz mucho más intensa y de mejor calidad. En la actualidad, este tipo de bombillas está siendo sustituido por otras tecnologías de producción más eficientes tipo *led* que veremos a continuación.

- Descarga: más recientemente, se han desarrollado equipos que utilizan la descarga de energía eléctrica para generar luz de manera mucho más eficiente, haciendo que la corriente eléctrica transite entre dos polos sobre los que existe una diferencia de potencial. Para ello, se insertan un ánodo y un cátodo, extremos eléctricos positivo y negativo, en una atmósfera gaseosa que al recibir la descarga de energía eléctrica la transforma en luminosa emitiéndola al exterior. Hay varios tipos de lámparas de descarga. En las fluorescentes, por ejemplo, se introduce vapor a baja presión, generalmente sodio o mercurio, combinado con otros elementos, y se reviste el interior con fósforos con distintas propiedades de emisión. Al producirse la descarga eléctrica sobre el vapor, este emite radiación ultravioleta, que es absorbida por el fósforo y emitida al exterior en forma de luz visible, cuyas características espectrales dependen del tipo de fósforo que se utilice como recubrimiento. En las lámparas HMI y de xenón, muy utilizadas en las luminarias de los vehículos, se introducen en una atmósfera controlada, de manera similar, gases que emiten energía en forma de luz tras múltiples microdescargas a alta frecuencia. Las lámparas tipo *led* son similares y producen luz mediante descargas eléctricas en un diodo, de ahí su nombre *light emision diode*, y emiten energía luminosa en determinado rango de frecuencias visible en función del material del que está construido cada *led*, que suele disponerse junto a otros muchos en matrices bidimensionales. Las luminarias tipo *led* resultan de gran rendimiento lumínico y estabilidad cromática, por lo que se están imponiendo con rotundidad en el ámbito de la producción profesional, y también en el entorno doméstico por su eficiencia energética.

Cada fuente de luz es adecuada para un determinado uso específico y no todos los equipos para producción luminosa que hay en el mercado se pueden utilizar en todas las situaciones. Por ejemplo, no son iguales las lámparas que se utilizan para iluminación exterior que las que se usan para uso doméstico, como tampoco son iguales las utilizadas para el registro profesional de imágenes o para la iluminación de espectáculos escénicos, que las que podemos encontrar iluminando otros espacios.

Para determinar las diferencias existentes entre las distintas fuentes de luz debemos analizar con detalle sus características, para así poder elegir aquella que se ajuste de la manera más adecuada al uso que le vamos a dar. Para ello debemos conocer en cada fuente la calidad espectral de la luz que emite y su intensidad, pero también es importante conocer siempre y especialmente si el flujo luminoso es constante y cómo se distribuye, y si el equipo es eficiente desde el punto de vista del consumo eléctrico y en relación con su coste económico de adquisición, además de si es fácilmente manejable y transportable.

*3.1.3.1. Calidad espectral. Temperatura de color y balance de blancos*

Tal como hemos venido estudiando, la luz visible para nosotros es aquella comprendida en una región del espectro electromagnético con longitudes de onda que van, aproximadamente, desde los 400 a los 700 nanómetros. Cualquier emisión de energía electromagnética proveniente de una fuente natural o artificial está conformada, en general, por un conjunto de longitudes de onda que pueden pertenecer a la región visible del espectro y/o contener longitudes de onda mayores o menores de las que nuestros receptores sensoriales de la visión pueden percibir y nuestro cerebro interpretar.

El sol, la fuente de luz natural por excelencia, emite ondas electromagnéticas en una amplia gama de longitudes de onda, la mayoría de ellas no visibles e incluso muchas de ellas nocivas para la vida y que, afortunadamente, son absorbidas por la atmósfera antes de llegar hasta la superficie terrestre. A lo largo del día, además, la luz solar cambia sus características de manera evidente. Para cualquier observador medianamente atento es fácilmente perceptible la diferencia de tonalidades que se van sucediendo en el color del cielo mientras el día avanza, desde las azuladas mañanas a los anaranjados atardeceres que cualquiera alguna vez se ha detenido a disfrutar, pasando por los plomizos grises que se instalan en días de cielos encapotados y tormentas. También cualquiera, sin duda, ha observado alguna vez cómo emerge entre la lluvia un arco iris de vivos colores que invita a la contemplación maravillada. Y es que la atmósfera y los fenómenos atmosféricos actúan frente a los rayos del sol como un gran filtro que puede absorber, reflejar y desviar o refractar la energía que proviene de nuestra estrella más cercana y, consecuencia de ello, seleccionar solo unas longitudes de onda determinadas que son las que llegan a nosotros en cada momento del día y en cada situación atmosférica particular.

Así, tal como ya explicamos, cuando vemos aparecer el arco iris es porque cada gota está actuando como un diminuto prisma de Newton en el que se está produciendo un fenómeno de refracción en la luz proveniente del sol, que lo atraviesa provocando una desviación distinta para cada longitud de onda particular y descomponiendo la luz del sol en sus colores integrantes. Cuando vemos el cielo azul o naranja es debido a que la rotación terrestre hace variar la perpendicularidad con que los rayos del sol llegan hasta nosotros y cuando esta disminuye, como en el atardecer, las longitudes de onda cortas, correspondientes a los azules, son absorbidas y desviadas por el gran filtro que es la atmósfera, dejando llegar hasta nosotros en línea recta solo las ondas más largas, correspondientes a los tonos anaranjados. Cuando los cielos son grises es porque en la atmósfera se ha interpuesto un filtro adicional al sol, las nubes, que, al ser de gran densidad, reducen de manera drástica la intensidad de la luz que llega hasta nosotros y nos obligan a activar los mecanismos de la visión nocturna haciendo uso de los receptores al efecto, los bastones, lo cual provoca que la saturación de los colores disminuya y todo se tiña de un deslucido tono grisáceo.

Todos estos fenómenos que producen cambios en los colores con que percibimos el entorno en nuestra cotidianeidad debemos entenderlos, entonces, como variaciones

del conjunto de ondas electromagnéticas que componen la luz que llega hasta nosotros, es decir, en la calidad espectral de esa luz, cuya distribución de energía para cada longitud de onda particular proporcionará tonalidades distintas en el entorno a la mirada del observador atento.

Cuando creamos luz de manera artificial, tal como vemos con facilidad si comparamos las curvas de distribución espectral de varias lámparas comerciales, el color de la luz que emite una u otra fuente es también completamente distinto.

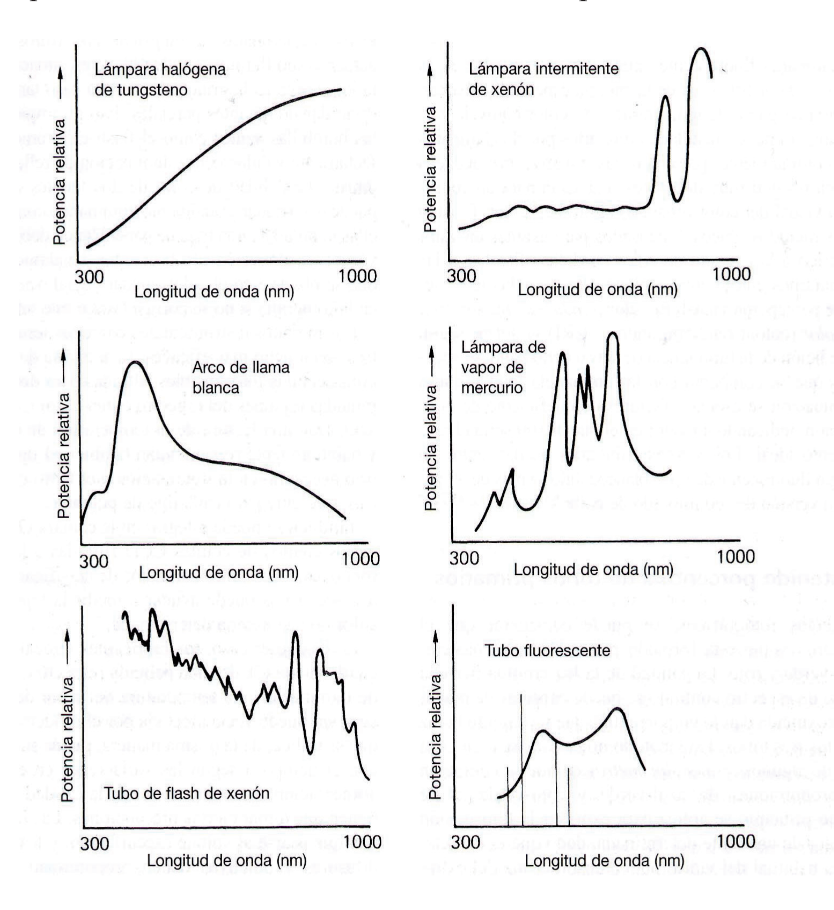



Ilustración 62. Distribución espectral de diversas fuentes (R. Jacobson)

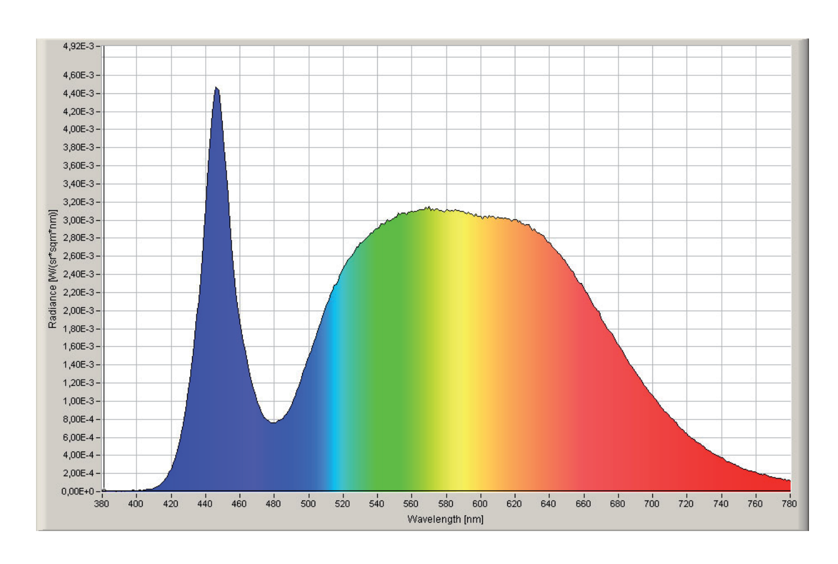



Ilustración 63. Distribución espectral de fuente tipo *led*

De alguna manera debemos definir las diferencias de color entre las diferentes fuentes pero, como ya dijimos en epígrafes anteriores, el gran problema que presenta la definición del color es de denominación. Podemos distinguir cientos de matices cuando se nos muestran a la vista, pero tenemos muy pocos vocablos en el lenguaje para nombrarlos y solo podemos verbalizar unas pocas decenas de ellos. La categorización de los colores, además de sujeta a las limitaciones propias de la percepción psicofisiológica, está intrínsecamente ligada a la mediación sociocultural y, por ello, existen grandes variaciones entre el número de colores que, por ejemplo, puede llegar a enumerar cada uno de los sexos, con amplia ventaja para el femenino en la mayoría de las culturas; asimismo en diferentes estratos socioculturales el abanico de vocablos para denominar la gama de colores varía de manera muy significativa.

Así y todo, darle un nombre a un color no suele servir de mucho en la mayoría de las ocasiones para facilitar la comunicación, y de nada para trabajar profesionalmente con ellos. No es difícil experimentar esta incomunicación en, por ejemplo, una actividad tan común como la de acudir a una tienda de pintura a comprar un bote de un deteminado color, operación que puede concluir con éxito si la denominación del color es compartida por vendedor y comprador o, bien al contrario, llevar a desagradables sorpresas cuando el tono naranja «apagado» o «verdoso» que se le pidió al vendedor no se parece en nada al que pretendíamos para nuestra pared. Como el lenguaje está sujeto *per se* a la obligada interpretación y esta muchas veces puede no ser la más correcta, se han ideado otros sistemas de denominación para los colores que eliminen esta limitación y arbitrariedad denominativa. Entre otros, por ejemplo, se han desarrollado cartas de colores en la que cada color se denomina por un número específico, de manera que, conociendo su fórmula de composición de pigmentos, cualquier casa de pintura medianamente profesional, siguiendo con nuestro ejemplo, podrá reconstruir una y otra vez ese color ante la demanda azorada del cliente que pintó una pared y se quedó sin pintura antes de acabarla: bastará con que le dé al vendedor el número de color, único e inconfundible, evitando así otros calificativos para definirlo que solo podrían llevar a confusión.




Ilustración 64. Cartas de color Pantone

Problemas similares de denominación a los explicados en nuestro ejemplo para determinar el color de los pigmentos se tienen para conocer la calidad espectral, es decir, el color, de una fuente de luz cualquiera. Como consecuencia de ello, para eliminar la incertidumbre intrínseca que provoca el lenguaje y adoptar una denominación inequívoca para cada color, se ha desarrollado el concepto de *temperatura de color*, y de igual manera que para un bote de pintura decimos xxx Pantone, para una luz decimos xxx ºK. La abreviatura ºK corresponde a grados Kelvin, en los que el cero absoluto se sitúa en -273,15 ºC, es decir 0 ºC corresponden a 273 ºK.

Para entender qué es y cómo se mide la temperatura de color de una fuente de luz cualquiera debemos incidir en que esa fuente está emitiendo energía electromagnética de distintas intensidades para diferentes longitudes de onda. Si, por ejemplo, la intensidad de luz emitida fuese muy alta en la zona de los 700 nm y muy baja en los 400 nm tendríamos una luz visible de un color anaranjado o rojo; y si fuese al revés la luz sería azulada; si hubiera una proporción determinada de longitudes de onda correspondientes al rojo, al verde y al azul, veríamos una luz blanca. Para su medición, y denominación en ºK, estableceremos un proceso de comparación entre esta fuente de luz que emite diversas longitudes de onda con diferente intensidad, sea cual sea su distribución espectral, con un patrón constante del que siempre podemos esperar la misma respuesta. El patrón invariante que utilizamos para medir el color de la luz no es posible mirarlo y tocarlo porque se trata de un constructo de la física teórica al que se denomina *radiador planckiano*, que se debe entender como un cuerpo teórico que al calentarlo emite radiaciones electromagnéticas de igual intensidad en todas direcciones, y que va variando en longitud de onda a medida que varía el calor que se le aplica.

Este *radiador planckiano*, podemos concebirlo como un *radiador total* o *cuerpo negro*, al que se pueden aplicar las leyes de la física para calcular su comportamiento, que podemos entender de manera intuitiva si observamos las emisiones luminosas que se producen cuando se calienta, por ejemplo, un trozo de hierro. A poco que nos fijemos, podemos ver que el hierro va variando su color desde los naranjas a los azulados a medida que aumenta la temperatura. El aumento de la energía calorífica que se le aplica produce una emisión de ondas electromagnéticas de longitudes cada vez menores: con unos pocos grados el hierro emite longitudes de onda largas, de 700 nm, anaranjadas, y si aumentamos la temperatura las ondas emitidas variarán hasta que veamos ese hierro azulado, es decir, emitirá ondas de longitud de onda menor, alrededor de 400 nm de longitud. Si somos capaces de situar un *radiador total* o *cuerpo negro* al lado de una fuente de luz e ideamos un sistema comparador de la luz, que ambos cuerpos emiten, al aplicarle calor al *cuerpo negro* hasta que la distribución de energía electromagnética que emite sea idéntica a la de la fuente de luz, podremos entonces decir que la temperatura a la que habíamos calentado el radiador total se corresponde con la distribución espectral de energía que emite la fuente, es decir, con su color. De este modo, comparando ambas fuentes y tomando como *nombre* del color la temperatura a que se calentó el radiador total para que emitiera energía luminosa de manera idéntica a la fuente, diremos que esta última tiene una temperatura de color de, por ejemplo, 3200 ºK, que correspondería, en este caso, a una fuente de luz anaranjada. Si hu-

biésemos tenido que calentar más nuestro cuerpo planckiano hasta, por ejemplo, los 5500 ºK es porque la fuente sería más azulada y solo aumentando el calor aplicado podríamos igualar la emisión de ambas, de igual manera que ocurre cuando observamos los efectos del calentamiento en el hierro, que a medida que aumenta el calor se torna más azul, precisamente porque emite longitudes de onda cada vez más cortas a medida que aumenta la temperatura.

| *Fuente de luz* | *Temperatura de color aproximada* | *Valor mired* |
|---|---|---|
| Vela normal | 1930 K | 518 |
| Luz diurna al amanecer | 2000 K | 500 |
| Lámpara de tungsteno en vacío | 2400 K | 417 |
| Lámpara de acetileno (usada en los primeros trabajos sensitométricos) | 2415 K | 414 |
| Lámpara de tungsteno rellena de gas (uso general) | 2760-2960 K | 362-338 |
| Lámpara fluorescente blanca cálida | 3000 K | 333 |
| Lámpara fotográfica | 3200 K | 312 |
| Lámpara Photoflood | 3400 K | 294 |
| Bombilla de flash | 3800 K | 263 |
| Lámpara fluorescente de luz de día | 4500 K | 222 |
| Luz diurna directa a mediodía | 5400 K | 185 |
| Luz diurna fotográfica | 5500 K | 182 |
| Bombilla de flash azul | 6000 K | 167 |
| Tubo de flash electrónico | 6000 K | 167 |
| Luz diurna media (mezcla de luz solar y luz ambiente) | 6500 K | 154 |
| Lámpara fluorescente igual color | 6500 K | 154 |
| Cielo azul | 12000-18000 K | 83-56 |

Ilustración 65. Temperatura de color de diversas fuentes (R. Jacobson)

El *radiador total* no existe materialmente, solo es un concepto de la física teórica que permite calcular la transducción de energía calorífica en electromagnética en un cuerpo ideal no sujeto a otras perturbaciones, pero sí sirve como patrón comparador al realizar lecturas de una fuente de luz cualquiera con un espectrómetro, hoy día integrado en cualquier equipo de captación de imágenes, para permitir adecuar su registro a la calidad espectral del entorno mediante su medición y uso de un algoritmo específico que permite su comparación y ajuste. Es importante recordar, tal como se explicó en epígrafes precedentes, que los equipamientos deben operar para adecuar las diferencias notables que existen entre la naturaleza de los fenómenos físicos y la percepción particular que tenemos de ellos, siempre mediada por nuestros sentidos. En el caso de la percepción del color siempre se tiende a la constancia y, aunque físicamente los estímulos varíen su percepción, no lo hace en igual proporción, y tal como ya explicamos, nuestra percepción tiende a la adaptación al blanco de manera constante. Si estamos en el exterior en un día luminoso y entramos en una habitación iluminada por una vela o una tenue bombilla anaranjada, al principio veremos la habitación completemante bañada por una luz naranja pero, a medida que nos habituamos al nuevo entorno, iremos viendo poco a poco todas las tonalidades más cercanas al blanco. La temperatura de color de la vela no habrá variado en absoluto, pero en cambio nuestra percepción sí, de manera que si al entrar hubiésemos registrado una imagen y al cabo del rato otra, aunque ambas imágenes serían idénticas nosotros no veríamos lo mismo durante esos dos lapsos de tiempo y el registro de la imagen no se ajustaría a nuestra visión cromática del entorno que, recordemos, es de carácter fisiológico pero, sobre todo, cognitivo.

Al igual que nuestros órganos receptores tienen unas características específicas y responden a la luminosidad y al color de manera particular, tal como hemos estudiado, también los materiales que utilizamos para registrar lo que nuestros ojos ven tienen una respuesta propia a los estímulos físicos aunque, al contrario que nosotros, no tienen mecanismos de adaptación *cognitivos* al entorno basados en constantes perceptivas. Y a no ser que nosotros adecuemos su respuesta para que sea parecida a la nuestra y *vean* lo mismo que nosotros, no se corresponderá con lo que percibimos. En todos los equipos, consecuencia de este afán de reproducción fiel, es decir, de reproducir el mundo tal como lo vemos nosotros mismos, los sistemas de captación de imágenes permiten siempre una operación, manual o automatizada, durante su puesta en funcionamiento, que se denomina *balance de blancos*, y que se realiza para adecuar el espacio cromático que debe *ver* el equipo a lo que ven nuestros ojos.

Para realizar el *balance de blancos*, los equipos tradicionales utilizaban filtros, denominados de *conversión de color*, que se interponían entre la luz y el soporte donde se registraba la imagen, aunque en la actualidad esta adecuación de color, el balance de blancos, se consigue usando algoritmos que amplifican o reducen la intensidad de determinadas regiones del espectro luminoso registrado a partir de la comparación con las condiciones ideales de blanco que se perciben del entorno. Así, por convención, se ha establecido que la luz del día tiene una temperatura de color de 5500 ºK, y los equipamientos se ajustan a la particular distribución espectral que corresponde a ella. Igualmente, en cualquier equipo audiovisual podemos seleccionar otras condiciones estándar de luz, tales como interior, día nublado, etc., y de manera automatizada adecuar la respuesta del equipamiento a las condiciones lumínicas. A nivel profesional el balance de blancos se hace de manera manual, tomando una medición sobre una carta reflectante de color blanco para indicar, de manera precisa, cuál es la incidencia de la luz en ese entorno particular y cómo afecta al blanco patrón y, así, se reajusta el equipo para hacer que el registro de la imagen sea efectivamente el blanco del patrón.

#### *3.1.3.2. Intensidad luminosa. Constancia y eficiencia*

Una vez estudiados los aspectos fundamentales que determinan el trabajo con fuentes de luz en lo relativo a su calidad espectral, a su temperatura de color, vamos a analizar aquellos que nos van a informar de la intensidad luminosa que nos proporciona cualquiera de ellas para poder adecuar su utilización a los fines que persigamos. No es igual iluminar una pequeña habitación de estudio que un estadio olímpico pues, naturalmente, las características y, sobre todo, la intensidad de la iluminación que necesitaremos serán muy diferentes.

La unidad de medición de la intensidad luminosa es la *candela*, que se define como la energía luminosa que se emite en $1/60^5$ $m^2$ de la superficie de un radiador total a la temperatura de solidificación del platino, 2042 ºK. Es decir, la energía que emite esa pequeña superficie calentada a una temperatura conocida, la de solidificación del platino, equivale a una candela, magnitud invariable que se puede obtener utilizando la física teórica y que, como la temperatura de color, nos sirve de patrón.

Para determinar el flujo luminoso que se emite en el espacio se utiliza el *lumen*, que se define como la cantidad de energía que emite una candela en un ángulo sólido. Un ángulo sólido, o también llamado *estereorradián*, es el que se forma con un radio de 1 metro sobre una superficie de 1 m$^2$. La iluminancia de una superficie sobre la que incide la luz se mide en *luxes*, que se define como un lumen que incide sobre la superficie de 1 m$^2$. El *lux* será la unidad que más encontremos en las descripciones técnicas de los equipamientos de imagen, tanto para el rendimiento de las fuentes lumínicas como para indicar la sensibilidad a la intensidad luminosa en los equipamientos de captación.

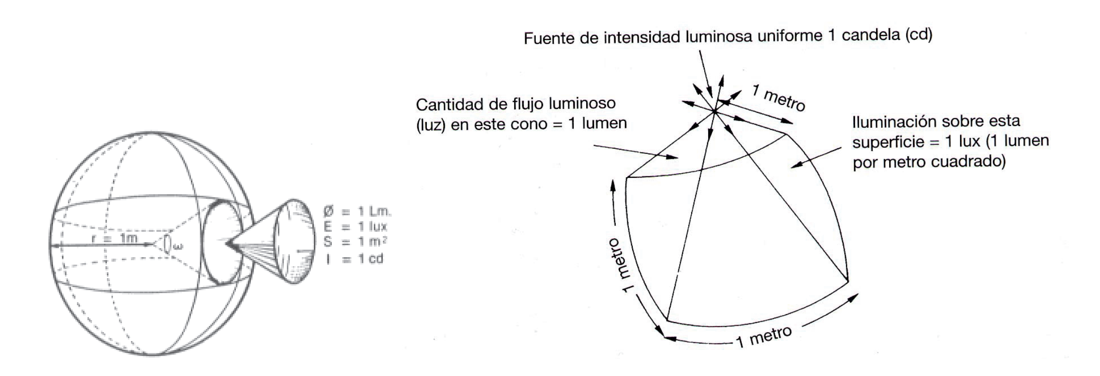



Ilustración 66. Unidades de iluminación

Una regla fundamental que nos permite comprender cómo se comportan los equipamientos de imagen con respecto a la intensidad luminosa es la *ley inversa de los cuadrados*, que viene a decir que las ondas electromagnéticas, y entre ellas la luz visible por supuesto, en su desplazamiento a través del medio van disminuyendo su intensidad de manera proporcional al cuadrado de la distancia que recorren. Es decir, tal y como vemos en el gráfico siguiente, cuando la distancia aumenta el doble la iluminación disminuye al cuadrado, de manera que la intensidad luminosa que llega a una determinada superficie a 2 metros de distancia de la fuente es 1/4 parte de la que llega a 1 metro, no la mitad como se podría intuir de manera errónea. Si estuviésemos a 4 metros no sería 1/8, sino 1/16 de la luz que llega a 1 metro, de manera que la iluminación disminuye de manera drástica en función de la distancia.

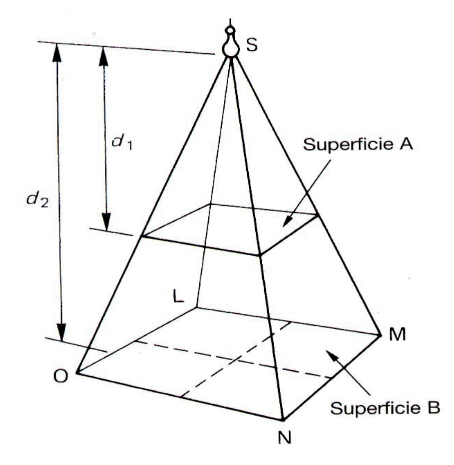



Ilustración 67. Ley inversa de los cuadrados

Por otro lado, no es infrecuente cuando se compra un equipo de iluminación encontrar entre la documentación técnica el gráfico con la curva de distribución polar que muestra la forma en que se distribuye la energía en el espacio, tal como podemos ver a continuación para una lámpara puntual o también llamada *spot*, esquema que resultará muy útil cuando se deban realizar diseños de iluminación complejos con multitud de fuentes.

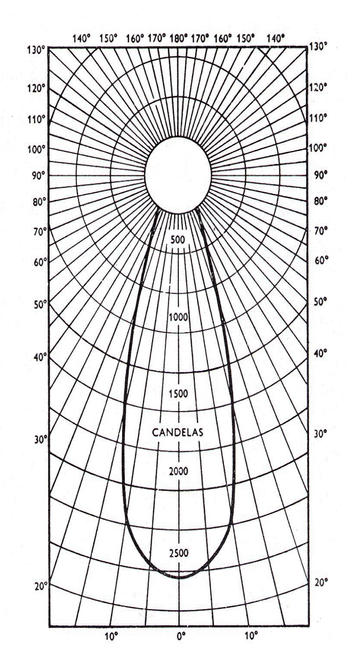



Ilustración 68. Curva de distribución polar fuente de luz

Finalmente, y para concluir, cabe incidir en que, además de conocer las propiedades lumínicas y la respuesta de las fuentes de luz, se necesita que las luminarias sean eficaces en función del uso a que están destinadas y en cuanto al consumo eléctrico requerido por las lámparas, aspecto de vital importancia en el diseño de estudios para la producción profesional de imagen audiovisual, y de necesaria evaluación para conocer los requerimientos de inversión en equipamientos de iluminación para cualquier producción audiovisual.

## 3.2. La imagen digital

Los intentos de desarrollo de tecnologías de captación de imágenes mediante métodos no fotográficos, es decir, que no utilizaran las propiedades fotosensibles de los haluros de plata, se remontan a las últimas décadas del siglo XIX, cuando se comenzó a experimentar con sistemas para registrar imágenes mediante la electricidad.

En 1873, los estadounidenses May y Smith descubrieron las características del selenio, un elemento capaz de producir una señal eléctrica proporcional a la intensidad de la luz a que se exponía. Poco después, en 1875, Carey ideó un sistema matricial de dos placas de células de selenio unidas por hilos conductores, que

permitía captar con una de ellas y transmitir a la otra la imagen resultante de las variaciones de intensidad luminosa de la escena, ya convertidas en diferencias de tensión eléctrica. Estos nuevos descubrimientos, complementados con los avances en telecomunicaciones de la época que dieron lugar, por ejemplo, a la invención del teléfono por Graham Bell en 1876, pronto iniciaron un interés creciente por encontrar sinergias entre las nuevas tecnologías eléctricas de obtención de imágenes de entonces y las incipientes industrias de las telecomunicaciones, impulsando así el desarrollo de tecnologías para el registro y la transmisión de imágenes a distancia.

Aquella matriz de células de selenio no era más que el antecesor de los sensores de las cámaras digitales actuales que, aunque rudimentarias entonces, pronto comenzaron a perfeccionarse. Las primeras mejoras al sistema vinieron de la mano de Constantin Senlecq, quien descubrió, en 1878, que era posible realizar el análisis secuencial de los puntos de imagen de la matriz de células de selenio mediante el barrido, es decir, utilizando un solo cable para transmitir de manera sucesiva y ordenada toda la información registrada punto a punto y línea a línea, es decir, de manera *secuencial*. Este nuevo método evitaba el tener que conectar con un cable cada una de las células de la matriz con la correspondiente en la otra placa para transportar la electricidad punto a punto, lo cual hacía poco operativo el sistema de transmisión al tener que hacerse en *paralelo*, pues descargar de manera simultánea toda la información suponía un complejidad enorme en la conexión entre ambas matrices.

A partir de los años 60, con el desarrollo de la electrónica y los sistemas de captación basados en matrices de estado sólido, empezó a cobrar un gran impulso el interés por trasladar los avances obtenidos en tecnología electrónica e informática a la captación de imágenes, dando como resultado los sistemas digitales de que disponemos en la actualidad. Así, en 1960, Horton presentó el primer sensor moderno en forma de una fina barra en cuya superficie había una serie de fotodiodos alineados que almacenaban electricidad en función de la luz recibida. Poco después, en 1970, Staiger, de la empresa Philips, demostró que era posible transferir la carga eléctrica almacenada en un dispositivo MOS (*metal-oxid semiconductor*), es decir, en una matriz fotosensible de fotodiodos o de condensadores, a otro MOS adyacente mediante conmutadores que permitían mover las cargas de uno a otro. En 1970, Boyle y Smith, de Bell Telephone, utilizaron el mismo concepto pero realizando la transmisión sin conmutación, simplemente polarizando las zonas para que la diferencia de potencial permitiera el movimiento de cargas, y así inventaron el denominado CCD, *couple charge device*, es decir, dispositivo de cargas acopladas, que ha sido el tipo de sensor sobre el que se han construido todas las cámaras digitales hasta hace una década.

El primero de los prototipos de cámara digital fue lanzado por Sony en 1981, la Mavica (*magnetic video camera*), la primera cámara con un sensor de imagen CCD de 2/3”, 570 × 480 píxeles, que grababa sobre un disquete magnético imágenes fijas que podría registrar con una cadencia de 25 *frames* por segundo, haciéndolas aptas para la televisión. La Mavica era similar a una cámara réflex, disponía de tres

objetivos intercambiables, y tenía una construcción similar a las actuales cámaras fotográficas DSLR, que también permiten la grabación de vídeo con muchas más eficientes prestaciones, y utilizando otros soportes de almacenamiento como las memorias tipo *flash* ya estudiadas. Canon, Fuji y Panasonic lanzaron también algunos modelos similares para la grabación de imágenes fijas, aunque sin demasiado éxito comercial, y después de algunos titubeos finalmente en 1989 Canon lanzó la cámara fotográfica Ion RC-251, cuyo sistema de captura digital y grabación magnética se popularizó de manera inmediata. Al modelo de Canon le siguieron otros de Fuji y Konica que utilizaban tarjetas PCMCIA para la grabación de los datos, y también nuevas cámaras de Kodak que utilizaban estas tecnologías, comenzando así una imparable carrera competitiva por el aumento de la resolución y las prestaciones en cada uno de los sucesivos modelos de cámaras digitales que se lanzaban al mercado, tal como ocurre en nuestros días.

### 3.2.1. Exploración de la imagen. Sensores CCD y CMOS

Tal como venimos relatando, los actuales sistemas de captación de imágenes están basados en sensores de estado sólido agrupados en forma de matrices bidimensionales que convierten la energía luminosa recibida en energía eléctrica, generando una corriente de electrones proporcional a la intensidad luminosa recibida.

En los sensores tipo CCD se han de tener en cuenta ciertas limitaciones en cuanto al rendimiento espectral del sensor, ya que suelen ser mucho menos sensibles a los azules. Otro de los problemas importantes que tienen es su escasa capacidad para almacenar fotones y la facilidad de desbordamiento cuando la iluminación es más intensa de lo aceptable, produciendo efectos indeseados sobre la imagen.

Para evitar estas limitaciones y problemas, se crearon otro tipo de sensores integrados, también a partir de células MOS pero mediante la tecnología a la que se denomina CMOS (*complementary metal-oxid semiconductor*), de modo que cada una de las células de almacenamiento MOS dispone de un transistor individual que detecta y reduce o amplifica la carga eléctrica para evitar desbordamientos; además, permite el acceso directo a cada uno de los sensores utilizando unas coordenadas XY, lo cual hace posible seleccionar píxeles, o *ventanas de interés* correspondientes a grupos de píxeles, para hacer más efectiva la captura de los datos en función de las condiciones lumínicas. Con ello se puede, por ejemplo, corregir el balance de color o aumentar la sensibilidad global o parcial de partes de la escena bajo condiciones de iluminación insuficiente. Actualmente, los sensores CMOS se han implantado frente a los CCD en todos los equipos profesionales de producción audiovisual porque presentan ventajas muy importantes, aunque todavía los CCD se utilizan en algunas aplicaciones de imagen científica por su particular rendimiento espectral y su robustez, como por ejemplo en astronomía. Los CMOS, en cualquier caso, tienen ventajas muy evidentes para la producción profesional de imágenes convencionales, entre las más significativas está su facilidad de integración y el consecuente aumento en la densidad de sensores en cada matriz, y por tanto el incremento en su resolución en píxeles; también es una gran ventaja poder realizar

en el propio sensor un gran número de funciones básicas, tales como la conversión analógico/digital, el control automático de la exposición, el balance de blancos y el autofoco, entre otras, haciendo además las cámaras mucho más ligeras y compactas y reduciendo su consumo hasta un 30 %. Además de todo ello, el uso de sensores MOS para su construcción permite utilizar las cadenas de producción estándar de circuitos integrados ya muy implantadas en la industria de la electrónica, con el consiguiente abaratamiento de costes. Lo cual permite la comercialización de equipos en el mercado a precios muy competitivos en relación con las prestaciones ofrecidas.

A pesar de la feroz competencia entre tecnologías y la imposibilidad de conocer qué desarrollos acabará imponiendo la industria, la tendencia actual es utilizar sensores CMOS de dimensiones cada vez mayores y, cuanto menos, con el formato estándar heredado del cine, 24 × 36 mm, aprovechando todo el sensor, esto es, FullFrame. En algunos sensores también, se intenta un mayor aprovechamiento lumínico integrando microlentes individuales o diseñando las células fotosensibles con formas ortogonales o de otro tipo, y desarrollando algunas otras técnicas en fase de investigación que puedan permitir mejoras sustanciales en los sistemas de captura, y que, posiblemente, veremos implantadas en los equipos profesionales en pocos años.

#### *3.2.1.1. Registro del color*

Tal como venimos relatando, cuando los sensores se integran en las cámaras digitales, se utilizan estrategias de filtrado tricromático o sistemas de varios sensores para poder realizar fotografías en color ya que, si no fuera así, una matriz de células fotosensibles por sí misma solo nos daría diferencias de intensidad eléctrica en función de las diferencias de luminosidad de la escena, es decir, solo registraría una imagen en blanco y negro, las diferencias de luminosidad.

Para el registro cromático se utilizan estrategias basadas en los ya descritos métodos aditivos o sustractivos para la formación de color, con las particularidades ya explicadas en cuanto a su adecuación a las características psicofísicas de nuestra percepción de *equilibrio de color* que se realizan con mucha precisión e inmediatez.

Como ya comentamos, se ha demostrado experimentalmente la adaptación cromática que hacemos al blanco y la diferente sensibilidad para cada uno de los colores primarios. Nuestra percepción para el rojo es dos veces inferior a la del verde, y al azul nuestra sensibilidad es cinco veces inferior que para el verde. Es decir, si asignamos un 1 al valor de verde, las sensibilidad al rojo sería de la mitad, 0,5, y al azul la quinta parte, 0,2. Como, además, sabemos que la conjunción de los tres colores primarios forma el blanco, es decir, tiene un valor sumatorio de 1,7 en total, podemos regularizar estas cifras dando 1 al valor de blanco y de manera proporcional a sus colores componentes, esto es 0,30 al rojo, 0,59 al verde y 0,11 al azul. Con ello tenemos que el blanco, también llamado luminancia (Y), es la suma de los tres coeficientes del color, o crominancia (C), siguiendo esta sencilla

fórmula Y = 0,39R + 0,59V + 0,11A. De este modo, para el registro de cualquier color necesitamos solo los tres colores primarios R + G + B en esas proporciones, o bien la luminancia total y dos señales diferencia de color, Y + (A – Y) + (R – Y). Así están definidos los dos sistemas de creación de color más habituales en los equipamientos de producción de imagen, RGB o Y/C, dependiendo de si se utilizan como colores componentes los tres primarios o, por el contrario, se usa la luminosidad total y dos señales diferencia de color.

Cualquiera de los dos sistemas se utiliza para el registro del color, tanto para las imágenes fotográficas como para las videográficas, haciendo uso de las dos diferentes estrategias de separación del color básicas durante la captura ya comentadas. La primera de ellas, superponiendo al sensor un filtro mosaico RGB, a costa de reducir la resolución efectiva a 1/3 del número de células físicas integradas en el sensor; y la segunda, y la utilizada en los equipos de captación videográfica profesionales, con la utilización de 3 matrices de sensores, dirigiendo a cada una de ellas, mediante filtrado, uno de los colores primarios para registrarlos por separado y, posteriormente, recombinarlos en circuitos electrónicos al efecto, tal como ya vimos más arriba.

#### *3.2.1.2. Resolución y formato de la imagen. Caracterización de los sensores*

Por lo general, muchos sensores de las cámaras digitales mantienen una relación de aspecto 4:3 debido a que los primeros que se comercializaron se fabricaron para sistemas videográficos destinados al registro de imágenes para televisión, aunque como decíamos, cada vez se impone más el formato 3:2 del estándar cinematográfico 24 × 36 mm. No obstante, en cuanto a tamaños y resoluciones existen multitud de opciones que complican sobremanera el mercado de cámaras digitales, más aún cuando a veces se disfrazan las características de los sensores con marcas comerciales que los hacen indefinibles.

Para caracterizar los sensores debemos fijarnos, en primer lugar, en el tipo de sensor que es en cuanto a la forma en que realiza los movimientos de cargas y, luego, en su tamaño y densidad de células fotosensoras que nos darán finalmente la resolución global, resultado de multiplicar el número de filas por columnas y cuantificada en millones de píxels, en megapíxels. Podemos ver a continuación un cuadro comparativo de diferentes sensores.

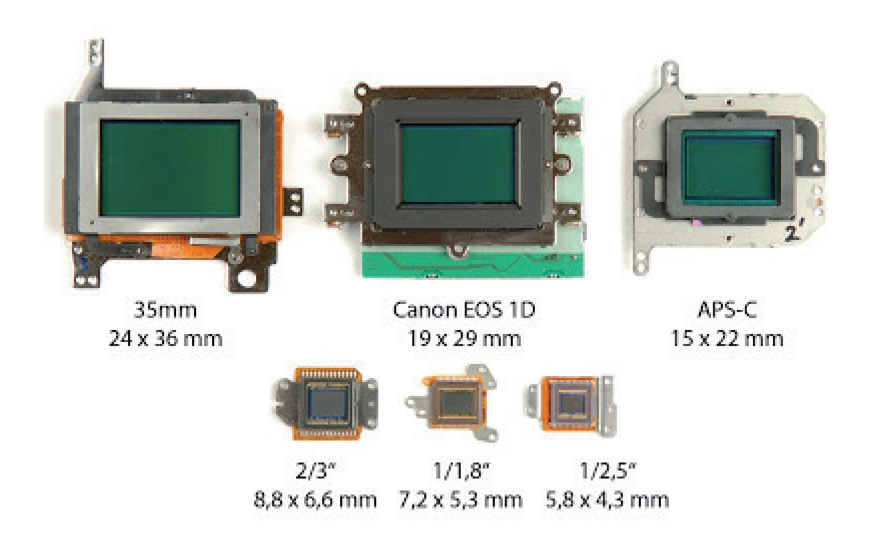



Ilustración 69. Tipos de sensores (R. Bouillot)

Las dimensiones del sensor y su resolución efectiva es de vital importancia en la captación, al determinar el cálculo de los ángulos de apertura en función de las distancias focales de los objetivos. Cuando utilizamos un sensor de tamaño estándar 24 × 36, la gama de objetivos concebidos para las cámaras réflex tradicionales se puede utilizar sin dificultad obteniendo los resultados esperados, pero cuando el tamaño del sensor es menor, como suele ocurrir en la mayoría de las cámaras domésticas y semiprofesionales, si se utilizasen los mismos objetivos gran parte de la imagen a registrar se perdería, y de ahí la gran variabilidad en la oferta de cámaras y objetivos en el mercado aficionado debido a la multiplicidad de tipos de sensores que se utilizan que, a nivel profesional, como venimos diciendo, tienden a la estandarización 24 × 36 FullFrame. Obsérvese el gráfico a continuación y se puede imaginar fácilmente que el ángulo de campo disminuirá si disminuimos el tamaño del sensor.

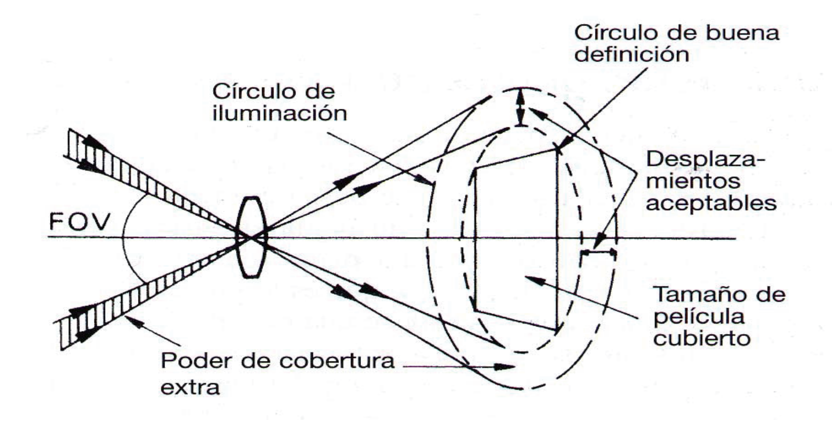



Ilustración 70. Cobertura de la lente en soporte sensible (R. Jacobson)

Dada la multiplicidad de tamaños de sensores que hay en el mercado y las diferentes longitudes focales de los objetivos que se montan en las cámaras, lo más sencillo para saber cuál es el rendimiento del objetivo en cuanto a apertura de campo es

consultar las instrucciones, aunque también se puede obtener con cálculos ópticos. En cualquier caso, conviene recordar que, además del sensor para obtener buenas imágenes, hay que tener en cuenta la calidad óptica del objetivo. Su poder de resolución será determinante para proporcionar imágenes de nitidez y contraste óptimos y, junto con su distancia focal y rango de diafragmas permitido, o número *f* (calculado según la fórmula distancia focal/diámetro de la apertura del diafragma), determinará la apertura y profundidad de campo de que podemos disponer para el registro de imágenes. Normalmente, encontraremos estos datos inscritos en la mayoría de los objetivos al modo *distancia focal: mayor abertura permitida*, y, en algunas ocasiones, en las hojas técnicas encontraremos tablas que indiquen su distancia focal equivalente.

Pero, como veremos a continuación, el registro de la imagen digital necesita, además, procesos que vayan más allá de la mera captura sobre un soporte fotosensible en función de las condiciones del mismo y del equipamiento opticomecánico para su captación. En este sentido, el proceso de digitalización y archivo influye mucho en la obtención de imágenes de calidad.

### 3.2.2. Digitalización de imágenes. Soportes de grabación y sistemas de archivo

El siguiente paso a realizar después de la captación y registro de imágenes en los sistemas digitales, tal como vemos en el esquema, es la *digitalización*, que es el proceso que da nombre a toda la tecnología y la hace diferente de cualquier otra. A partir de esta fase del proceso ya no se trabajará con valores eléctricos análogos a la luminosidad recibida, sino que estos valores se convertirán a codigo numérico, es decir, a dígitos, que representarán el valor de las tensiones eléctricas obtenidas de manera unívoca. Este proceso se conoce como conversión analógico/digital o, simplemente, digitalización, que, en el caso de nuestros actuales equipos de cálculo digital, está basada en el sistema binario, es decir, se reconstruye la información de la imagen a partir de la combinación de dos únicas cifras, el 0 y el 1. El proceso comprende tres fases sucesivas: muestreo, cuantificación y codificación, que vamos a ver con cierto detalle.

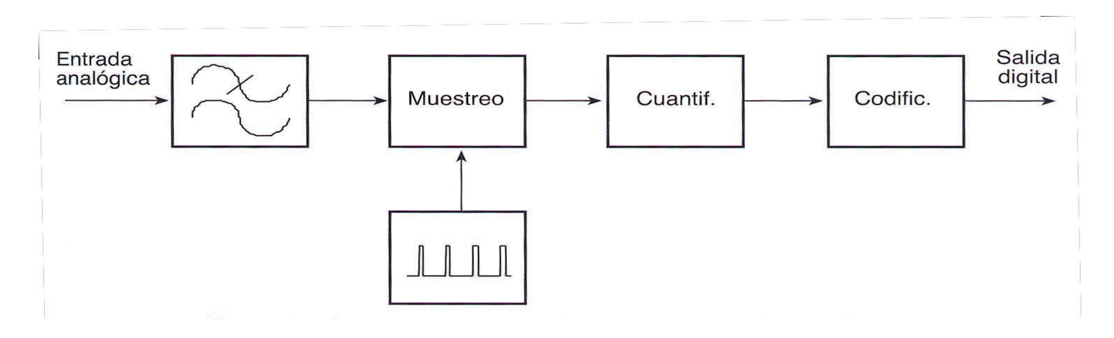



Ilustración 71. Proceso de digitalización

Durante de la fase de muestreo, se analiza a impulsos regulares sucesivos la señal eléctrica obtenida como resultado de las operaciones de captación realizadas por las células de la matriz fotosensibles que, recordemos, es la representación secuencial de las luminosidades registradas. Para leer estos datos, el muestreo se ha de hacer con una frecuencia, llamada *frecuencia de muestreo*, que ha de ser al menos igual al número de datos por segundo que registra el sensor, es decir, si el flujo de datos consecutivos es el resultante de la energía captada por 100 células sensoras cada segundo, la señal eléctrica se ha de muestrear, al menos, a la frecuencia de 200 hz, es decir, 200 veces por segundo. Al ser una señal de naturaleza ondulatoria –con una cresta y un valle–, el muestreo se ha de realizar, al menos, al doble de la frecuencia de salida de datos para que cumpla la llamada *condición de Nyquist* y no se pierda información.

En las siguientes etapas, cada uno de los valores muestreados se cuantifica y se codifica, es decir, se le asigna un valor numérico en términos binarios que, convertido a la escala decimal, más reconocible para nosotros, supone un número comprendido en un rango que va desde el 0 al 255, valores que se pueden representar binariamente con un conjunto de 8 bits, la *palabra* mínima con que trabajan los equipamientos de procesamiento de información digital, los ordenadores. De este modo, cada valor representado en 8 bits corresponde a la intensidad eléctrica de un píxel particular que, una vez cuantificada, permite realizar operaciones matemáticas sobre los datos con gran facilidad.

Después, los datos se han de estructurar de manera que puedan ser reconocibles como la información que define una determinada imagen a los que se pueda acceder sin dificultad para su reconstrucción, su visionado y su tratamiento individual o en grupo tanto en la propia cámara como, sobre todo, en los sistemas informáticos. Es en esta etapa del proceso donde se aplican los controles preestablecidos en la cámara en cuanto al formato de archivo de grabación y, si así se decide y lo permite el algoritmo de grabación de ese formato, la compresión a realizar sobre los datos de imagen y, consecuentemente, se determina el tamaño del archivo almacenado.

Para hacernos una idea del tamaño resultante de archivo, por ejemplo, en la codificación a 8 bits por píxel, es decir, con un margen de 255 valores, una imagen en blanco y negro de 800 × 600 píxeles requiere 480.000 bits, 480 Kb. Como es obvio, para una imagen convencional en color hay que multiplicar por 3 esta cantidad, al necesitar 24 bits por píxel, es decir, un total 1,44 Mb. Se puede hacer una codificación mayor de 8 bits por píxel, por ejemplo de 12, lo cual incrementaría todavía más el flujo de datos y, en consecuencia, el tamaño del archivo resultante. Sobre estos datos, en cualquier caso, se pueden aplicar algoritmos de compresión con el objetivo de aligerar el *peso* del archivo para poder manejarlo con más facilidad en los sistemas informáticos. La compresión puede realizarse sin pérdida, solo eliminando los datos redundantes, o con pérdida, intentando que solo se eliminen los datos despreciables y dejando aquellos que se consideren significativos. Por regla general, en una imagen digital, cuanto más complejo es el motivo captado menos redundancia hay en la información, y, por lo general, cualquier imagen registrada es ya de por sí intrínsecamente compleja, al contrario que sucede, por

ejemplo, con muchas imágenes de síntesis creadas por ordenador que contienen colores planos y son fáciles de comprimir.

El método de compresión más común para imágenes fijas es el denominado JPEG, desarrollado por el Join Picture Expert Group y de ahí su nombre, que consiste en descomponer la imagen en bloques de 8 × 8 píxeles para su compresión por zonas, dando como resultado ficheros manejables pero que, al utilizar compresión con pérdidas, no resultan útiles para el ámbito profesional, en el que se utilizan los ficheros RAW, en los que se graban íntegramente todos los datos, utilizando un algoritmo de compresión prácticamente sin pérdida que, por contrapartida, genera también archivos enormes.

Cualquiera de estos tipos de archivo se ha de grabar sobre un soporte con suficiente capacidad de almacenamiento, de ahí el interés de la industria y la investigación en tecnología audiovisual desde los inicios de la grabación digital por desarrollar sistemas de compresión de datos y soportes de alta densidad de grabación que permitan, a costes razonables, grabar el mayor número de imágenes de calidad óptima a una velocidad de transferencia de datos adecuada para su tratamiento y distribución. Como ya hemos estudiado, los soportes que más se están imponiendo en estos últimos tiempos por su versatilidad y eficiencia son los basados en memorias de estado sólido, conocidos como memorias *flash*.

### 3.2.3. Características de las cámaras digitales

Hay infinidad de modelos de cámaras digitales en el mercado con prestaciones y precios diferentes que debemos observar con atención para poder utilizarlas de manera productiva y trabajar con efectividad técnica y expresiva. Las cámaras destinadas a usos fotográficos cada vez se están utilizando más para la grabación cinematográfica, y el cine digital DSLR es, de unos años a esta parte, un interesante segmento de la producción profesional de imagen digital en franca expansión.

Para caracterizar las cámaras digitales debemos distinguir, en primer lugar, el sistema de captación que incorporan, bien porque utilicen un sensor matricial tipo CCD o CMOS, así como su resolución y el modo de exploración de la imagen, especialmente crítico para la grabación de imágenes en movimiento.

También debemos diferenciarlas entre sí en función del sistema óptico utilizado, es decir, en función de si tienen un sistema de espejo móvil que deja libre el sensor durante la captura y ofrece la posibilidad de disponer de objetivos intercambiables o no; lo que es lo mismo, si se trata de cámaras réflex DSLR, o compactas, o también pueden ser híbridas que sin disponer de sistema réflex sí ofrecen objetivos intercambiables.

De este modo, debemos analizar los siguientes aspectos, comunes en cualquier cámara digital:

- Objetivo: puede ser fijo o intercambiable, y sus características en relación con el ángulo de cobertura que cubre, profundidad de campo, nitidez, etc., dependen de su longitud focal y la apertura de diafragma que permite y está en relación con las dimensiones del sensor de la cámara sobre el que concentra la imagen a captar. Es frecuente que los objetivos sean de distancia focal variable, es decir, *zoom*, y que tengan automatizados el enfoque y la apertura del diafragma, el n.º *f*, de manera que puedan ser controlados desde la cámara, aunque en los modelos más profesionales siempre se permite la posibilidad de controlar estos parámetros de manera manual. Algunos objetivos también disponen de un modo *macro* para objetos cercanos y, para ciertos tipos de aplicaciones, hay objetivos con circuitos estabilizadores de imagen para evitar el movimiento indeseado durante la captura.

- Visor: por lo general las cámaras suelen disponer de un visor óptico que complementa a una pantalla de cristal líquido, normalmente regulable en contraste e intensidad y de un diámetro que suele ser mayor de 2'' en la mayoría de los modelos actuales, en la que se muestra la imagen en color a capturar. Si la cámara es réflex, el visor óptico también se corresponde con el encuadre a registrar, ya que las pantallas LCD suelen producir errores de paralelaje, al estar el eje óptico de la cámara y el de visionado en planos diferentes.

- Sistema de medición y determinación de la exposición: normalmente, las cámaras digitales integran la posibilidad de evaluar la luminosidad de la escena de manera puntual o promediada; con las más avanzadas se pueden obtener esos promedios haciendo mediciones puntuales múltiples de zonas de interés seleccionadas. Por lo general, la mayoría de las cámaras tiene preprogramados perfiles que responden a situaciones de iluminación particulares (nocturna, deporte, retrato, paisaje, contraluz, etc.) y permiten controles semiautomáticos de la exposición durante la captura, pudiendo dar prioridad a la velocidad de obturación o la apertura del diafragma. También suelen permitir correcciones sistemáticas sobre la exposición, como sobreexponer o subexponer varias unidades sobre el original, y disponen sistemas multidisparo por horquillado para realizar varias capturas con luminosidad por encima y por debajo de la medición original.

- Sistema de obturación: las cámaras digitales no necesitan obturadores mecánicos, ya que se puede regular el tiempo de exposición mediante los ciclos de descarga de la información registrada en los sensores, aunque algunos modelos disponen también de este tipo de obturador como complemento a la circuitería electrónica para evitar tener descubierto el sensor más tiempo del necesario.

- Sistemas de control de la sensibilidad: normalmente, las cámaras disponen de un rango de selección de sensibilidades, que emula la norma ISO para la fotografía tradicional, y cuyas prestaciones sí suelen ser notablemente mejores en modelos profesionales que en los equipos de aficionados, dado que los incrementos de sensibilidad se realizan utilizando niveles de amplificación

dentro de márgenes tolerables de ruido, aspecto que los equipos domésticos cuidan mucho menos y que, en general, se traduce visiblemente en peores resultados y en la presencia de ruido en la captación de imágenes en las que se usan las sensibilidades extremas.

- Balance de blancos: las cámaras digitales permiten la posibilidad de realizar automática o manualmente esta operación de adecuación del espacio de color a diferentes situaciones de captura. Entre los programas automatizados se suelen incluir situaciones de iluminación comunes para seleccionar la más adecuada y determinar el mejor equilibrio de color, o *balance de blancos,* entre las que se encuentran interiores, exteriores, ambientes nublados, luz fluorescente, etc.

- Sistema de almacenamiento, tipos de archivos y compresión: todas las cámaras digitales disponen de ranuras para inserción de tarjetas de almacenamiento y facilitan sistemas de transferencia de archivos al ordenador mediante conectores físicos, normalmente USB o IEEE 1394, así como tecnologías inalámbricas por IR, WIFI y/o *bluetooth*. De igual manera, entre las opciones de grabación se suele ofrecer la posibilidad de varios tipos de archivo y distintas resoluciones y calidades de compresión. En cuanto a las imágenes en movimiento, lo usual es que, cuanto menos, graben ya en formato FullHD 1080 p, que estudiaremos más adelante, aunque en el segmento doméstico existe mucha variabilidad.

- Efectos especiales y funciones accesorias: la mayoría de las cámaras ofrecen rudimentarios tratamientos de imagen que, en general, son de poca utilidad puesto que cualquier manipulación que haya de realizarse se hará de manera mucho más productiva una vez transmitidos los datos al ordenador y con el *software* específico para ello.

- Iluminación y sonido: normalmente, integrado en todos los modelos de aficionado y la mayoría de los profesionales, los cuales, además, disponen de zapatas para la colocación de equipos accesorios portátiles externos y sistemas de sincronización con equipos de *flash*, en el caso de las cámaras fotográficas.

- Sistema de alimentación: en general, aunque hay modelos domésticos que utilizan pilas desechables, se utilizan baterías de alta capacidad y óptima vida útil, en la actualidad normalmente basadas en polímeros de litio. También se dispone de la posibilidad de alimentación directa a la corriente eléctrica mediante un transformador o desde el ordenador utilizando conectores USB.

A continuación, podemos ver una cámara DSLR con los accesorios para su configuración para la grabación cinematográfica, que van desde los propios soportes para situar la cámara hasta todo tipo de sistemas de captura de audio, para el control de visionado o para su operación, de los que existen infinidad en un mercado que está en constante evolución.



Ilustración 72. Cámara digital DSLR

Con todo ello, y en definitiva, para la elección de una cámara digital se ha de tener en cuenta su calidad óptica, su resolución, la sensibilidad del sensor y sus cualidades colorimétricas y, finalmente, la calidad del visor y los accesorios disponibles y, también hoy, sus prestaciones para la grabación de vídeo. Pero, sobre todo, y dado que se trata de un mercado en constante desarrollo y muy competitivo, una cámara digital siempre se ha de elegir prestando atención a sus características técnicas y en función del uso que se le vaya a dar, evitando en todo caso guiarse demasiado por los aspectos promocionales utilizados para su venta.

## 3.3. Equipos de producción audiovisual

El proceso de digitalización de la información, tal como hemos estudiado, comprende las fases de muestreo, cuantificación y codificación digital; su efectividad depende de la frecuencia de muestreo, la profundidad o número de bits utilizados para la cuantificación y, finalmente, la codificación que se realice y, en su caso, los algoritmos de compresión que se utilicen, como muestra el gráfico de la página 88.

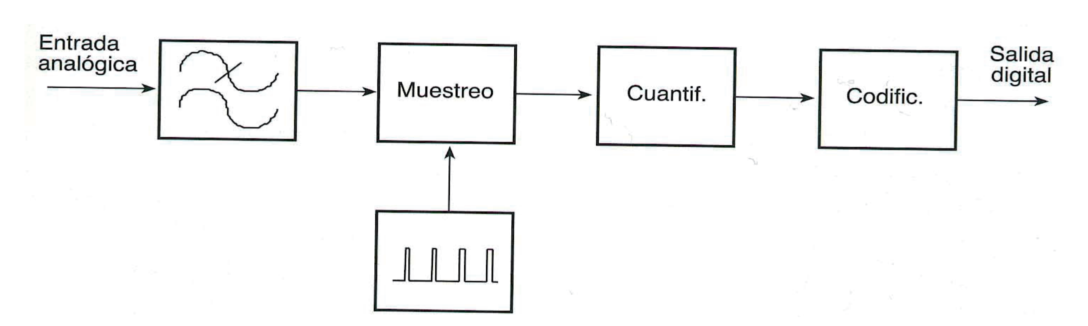



Ilustración 73. Codificación digital

No es distinto el proceso de digitalización para imágenes en movimiento que para imágenes fijas, la única y muy importante diferencia es el enorme flujo de datos por segundo con que se trabaja en el entorno videográfico, lo cual limita sobremanera la resolución de los equipos de captura de imágenes en movimiento. Imagínese, por

ejemplo, que se pretendiese grabar imágenes en vídeo de 12 millones de píxeles de resolución, algo perfectamente accesible para los sistemas de fotografía digital en estos momentos pero muy difícil cuando se han de manejar flujos de 25 imágenes por segundo, es decir, flujos de datos con la información correspondiente a 300 millones de píxeles por segundo. Razón más que suficiente para que los límites de resolución de los sistemas convencionales de vídeo oscilen entre los 720 × 576 píxeles en PAL, o los 1920 × 1080 en sistemas de alta definición, aunque para cinematografía digital se desarrollan equipos de prestaciones y calidad muy superiores.

Para la generación del color se utilizan las normas ITU-R, promulgadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, específicamente por el Comité Consultivo en Radiocomunicaciones, y que son las siguientes:

- CCIR 601 4:4:4: es un formato por componentes R, G y B o Y, R-Y y B-Y que mantiene la máxima calidad y permite el copiado sin pérdidas, pero con un elevado flujo de datos, 249 Mbit/s a 8 bits por señal. Cada segundo ocupa en formato PAL aproximadamente 31 Mb.

- CCIR 601 4:2:2: es el formato de producción con calidad de estudio más utilizado. A diferencia del anterior, utiliza la calidad subjetiva perceptible por la visión humana y el sacrificio colorimétrico es mínimo, aunque la multigeneración provoca pérdidas de calidad. Con esta norma, cada segundo ocupa aproximadamente 21 Mb.

- CCIR 601 4:1:1 y CCIR 601 4:2:0: ambos formatos suponen una disminución de la calidad colorimétrica de la imagen capturada pero, a partir de ello, se obtienen unos flujos de datos, 125 Mbit/s, idóneos para producciones ligeras y periodismo electrónico.

Estas normas se han implantado, junto con algoritmos específicos de compresión, en los sistemas digitales de vídeo que se comercializan, cuyas características y prestaciones están ligadas a la particular aplicación que hayan hecho de cada norma, y que son los siguientes.

## CCIR 4:2:2

- Betacam Digital: realiza una compresión que no llega a 2:1 (1,77:1) utilizando un sistema denominado BBR específico de Sony, que es la empresa que comercializa este sistema. Proporciona un flujo de datos de 127,8 Mbit/s, con muestras de 10 bits, y cuatro canales de audio.

- DVCPRO 50: consigue un flujo de 50 Mbit/s con una relación de compresión aceptada en el campo *broadcast*, 3,3:1, y es específico de Panasonic.

- DIGITAL-S: similar al anterior pero desarrollado por JVC.

- Betacam SX: utiliza compresión MPEG-2 con una relación 10:1 y una tasa de datos de solo 18 Mbit/s; compite con los dos anteriores, también desarrollado por Sony. Tiene igualmente cuatro canales de audio de buena calidad.

- Betacam MPEG-IMX: adaptación de Sony para compatibilizar totalmente el sistema de grabación con el de emisión comprimiendo directamente en MPEG y con una calidad alta con un flujo de datos también de 50 Mbit/s.

### CCIR 4:1:1 o 4:2:0

- DVCAM: desarrollado por Sony, utiliza una compresión 5:1 y una cinta ligeramente más ancha para evitar problemas de intermodulación. Puede contener 2 canales de audio de buena calidad o 4 de baja calidad.

- DVCPRO: específico de Panasonic y también con una compresión 5:1, aunque solo permite 2 canales de audio.

- DV: es el formato básico destinado al ámbito doméstico y, a diferencia de los anteriores, los equipos que utilizan este sistema abaratan los costes en los elementos de captura (CCD) y circuitos de compresión, con lo que la calidad final es inferior. En realidad, los anteriores se han elaborado a partir de este, manteniendo el flujo de datos en 25 Mbit/s y una compresión *intraframe* de 5:1. En todos estos formatos, se necesita como máximo, combinando vídeo y audio, 5,1 Mb de datos por segundo, es decir, media hora ocupa unos 9 Gb de disco duro.

Actualmente, los sistemas de grabación videográfica más extendidos están basados en cinta magnetizada aunque, como ya hemos insistido, se están introduciendo con fuerza, y para quedarse, los sistemas basados en tarjetas tipo *flash* y en discos duros u otros soportes magnetoópticos. Cada uno de ellos se diferencia por el tamaño de cinta que utiliza, la anchura de pista, el tipo de grabación y el formato de muestreo que realizan de la imagen, así como la profundidad de bits con que la graban y el tipo de compresión. El número de canales de audio y la frecuencia de grabación y longitud de muestras también es importante para determinar la calidad de grabación del sonido y, finalmente, es también necesario observar el flujo binario resultante, sobre todo porque será necesario adecuar las prestaciones del equipamiento de tratamiento de imagen a esas tasas de datos.

## 3.3.1. El formato de grabación DVCAM y HDV

El sistema DVCAM/HDV es un desarrollo particular del formato DV realizado por la empresa Sony destinado al mercado semiprofesional, aunque sus características permiten el registro de imágenes listas para su emisión sin que se aprecien diferencias reseñables de calidad respecto a otros sistemas más profesionales, aunque estas existen.

El sistema introduce mejoras en la grabación sobre cinta para evitar la intermodulación entre pistas y permite la grabación de códigos de tiempo y hasta cuatro canales de sonido.

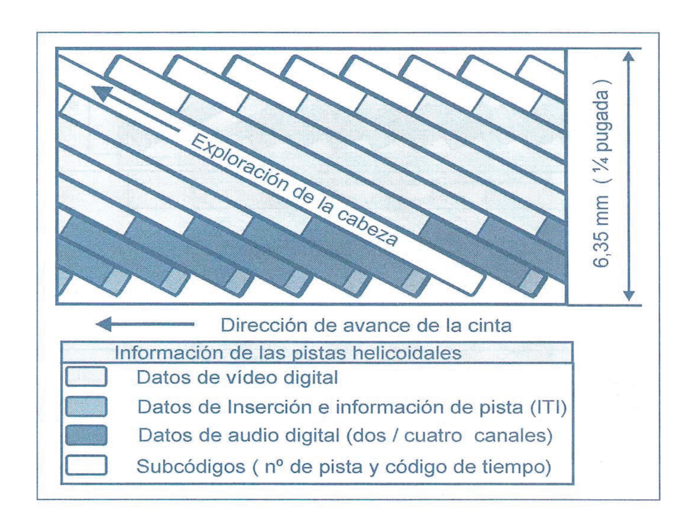



Ilustración 74. Grabación en cinta en sistema DVCAM

Pero la más importante diferencia respecto a otros formatos de grabación, tal como podemos ver en el cuadro comparativo siguiente, es el modo de muestreo de color, mucho más limitado que en sistemas más profesionales como Betacam Digital, por ejemplo, con ratios de compresión general mucho menores, del orden de 5:1 frente a los 2:1, lo cual facilita la reducción del flujo de datos hasta los 25 Mbit/s, tasa muy inferior a los 95 del formato Betacam Digital o los 140 del HDCAM. En cuanto a la calidad del sonido grabado, las diferencias son menos apreciables.

| Formato | Tipo de cinta | Anchura de pista (μm) | Grabación imagen | Muestreo | Longitud de muestra | Tipo de compresión | Ratio de compresión | Flujo binario (Mbps) | Grabación de audio | Número de canales | Frecuencia de muestreo (kHz) | Longitud muestras |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DV | 1/4″ | 10 | Componentes | 4:2:0 PAL<br>4:1:1 NTSC | 8 | DCT Intracuadro | 5:1 | 25 | PCM | 2/4 | 48/32 | 16/12 |
| DVCAM | 1/4″ | 15 | Componentes | 4:2:0 | 8 | DCT Intracuadro | 5:1 | 25 | PCM | 2/4 | 48/32 | 16/12 |
| HDCAM | 1/2″ | | Componentes | 3:1:1 | 8 | DCT Intracuadro | 7,1:1 | 140 | PCM | 4 | 48 | 16 |
| Betacam SX | 1/2″ | 32 | Componentes | 4:2:2 | 8 | MPEG 2 | 10:1 | 18 | PCM | 4 | 48 | 16 |
| Betacam Digital | 1/2″ | 21,7 | Componentes | 4:2:2 | 10 | DCT Intracampo | 2:1 | 95 | PCM | 4 | 48 | 20 |
| DVCPRO (D7) | 1/4″ | 18 | Componentes | 4:1:1 | 8 | DCT Intracuadro | 5:1 | 25 | PCM | 2 | 48 | 16 |
| DVCPRO 50 | 1/4″ | 18 | Componentes | 4:2:2 | 8 | DDCT Intracuadro | 3,3:1 | 50 | PCM | 4 | 48 | 16 |
| DVCPRO HD | 1/4″ | | Componentes | 4:2:2 | 8 | DDCT Intracuadro | 6,7:1 | 100 | PCM | 8 | 48 | 16 |
| Digital S (D9) | 1/2″ | 20 | Componentes | 4:2:2 | 8 | DCT Intracuadro | 3,3:1 | 50 | PCM | 2/4 | 48 | 16 |
| D9 HD | 1/2″ | | Componentes | 4:2:2 | 8 | DCT Intracuadro | 3,5:1 | 100 | PCM | 4 | 48 | 16 |
| IMX | 1/2″ | | Componentes | 4:2:2 | 8 | MPEG-2 | 3,3:1 | 50 | PCM | 4 | 48 | 16 |

Ilustración 75. Sistemas digitales de vídeo

Por su parte, el HDV, también un desarrollo específico de Sony, es un formato de 1440 × 1080 píxeles de resolución que se sitúa como un sistema intermedio en

HighDefinition, cuyo estándar está en 1920 × 1080 píxeles, frente a los 720 × 576 píxeles del resto de sistemas, incluidos los formatos Betacam de Sony o DVCPro de Panasonic y el propio formato DV/DVCAM. El sistema HDV emplea el formato de compresión MPEG-2, que utiliza grabación en componentes digitales de 8 bits con una relación de muestreo de 4:2:0. Para la compresión de audio se emplea MPEG-1 Layer II, lo que permite la grabación de dos canales con una frecuencia de muestreo de 48 kHz/16 bits. Emplea la misma anchura de pista y la misma velocidad de cinta que el formato DV, y ofrece un tiempo de grabación idéntico, máximo 63 minutos en una cinta mini.

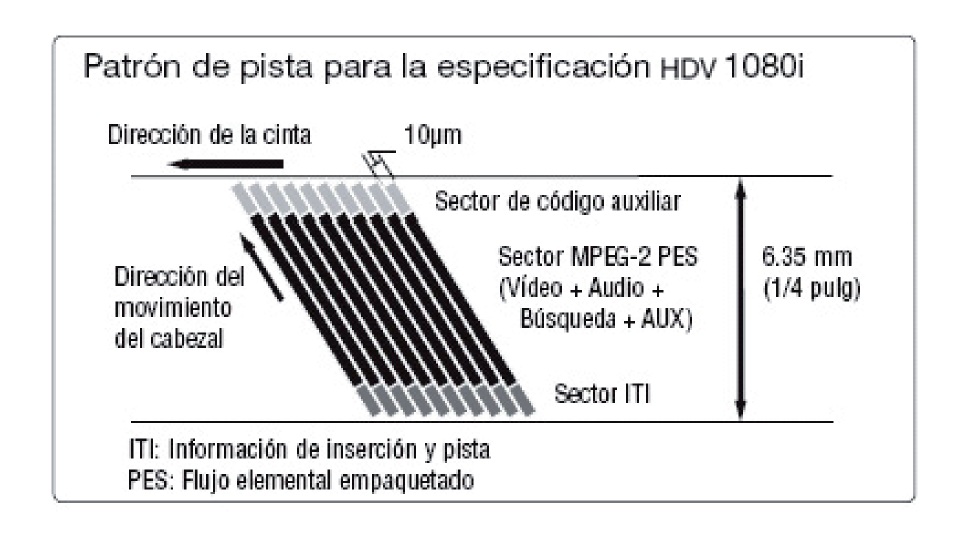



Ilustración 76. Grabación en HDV

## 3.2.2. Controles básicos de los equipos de captación

Para regular el paso de la luz y la forma en que llega hasta los sensores se han desarrollado equipos de captación y objetivos cuyos controles suelen poder regularse de manera automática o manual. Entre los más importantes podemos encontrar el de enfoque, *zoom*, apertura de iris y velocidad de obturación, aunque si la cámara es más compacta, algunos de ellos están distribuidos en otras partes del equipo. En el objetivo se encuentra también el interruptor de inicio/paro de grabación.

En el cuerpo de la cámara se suelen encontrar los controles que permiten regular el balance de blancos y adecuar los niveles de sonido para la grabación. Muchas de las cámaras actuales permiten acceder a menús con múltiples opciones de configuración y perfiles de grabación parametrizables según condiciones específicas de rodaje. Los equipos más profesionales permiten registrar la configuración en tarjetas de memoria para facilitar su puesta en operación.

Para la puesta en operación de la cámara e iniciar la grabación se han de realizar una serie de comprobaciones y operaciones de puesta a punto, que son las siguientes:

- Inserción del soporte de registro y situación en el punto de grabación.
- Comprobación de que el sistema de grabación y de registro de código de tiempo es el adecuado.
- Revisión de los controles de la cámara y su grado de automatización o su disposición para su operación manual.
- Realización de balance de blancos y prueba de niveles de entrada de audio.
- Inicio de la grabación. Es muy útil anotar lo que se graba en cada toma y su punto de inicio para facilitar después su recuperación; asimismo, se ha de tener en cuenta que será necesario iniciarla un poco antes de que empiece efectivamente la imagen que queremos registrar y acabarla igualmente un poco después, es decir, dejar *colas* de inicio y fin para facilitar luego los procesos de edición.

Como elementos accesorios a la cámara, encontramos multitud de soportes y equipos de iluminación, así como equipamientos de audio que facilitan el trabajo de producción profesional y mejoran de manera notable los resultados que se pueden obtener.

### 3.3.3. Accesorios de iluminación y grabación de sonido

Entre los equipamientos más usuales para adecuar las condiciones de iluminación de la escena a los objetivos expresivos perseguidos, se están imponiendo las luminarias tipo *led*, aunque conviven aún con las fluorescentes, complementadas con todo tipo de accesorios auxiliares para el manejo de la luz, como reflectores, banderas y otros tipos de filtros y difusores de uso habitual en la producción audiovisual.








Ilustración 77. Accesorios de iluminación

A modo orientativo, a continuación se detalla una lista de comprobación básica para la adecuada iluminación de las escenas a registrar.

- Se ha de determinar la calidad y la dirección de cada fuente de luz y la forma en que se va a utilizar; esto es, si para cada luminaria particular queremos obtener una luz dura o suave y si la vamos a proyectar sobre la escena de manera directa, rebotada o utilizando filtros difusores o de color.

- En caso de utilizar luz natural, se debe estimar el uso de accesorios para rebotarla y filtrarla o recortarla y sus características en el momento en que se va a realizar la toma; puede también que se necesiten luces artificiales de apoyo.

- Para iluminar el conjunto de la escena, se ha de establecer la situación, intensidad, color y direccionalidad de cada fuente en relación con el conjunto de luminarias y el efecto global que se obtiene con todas ellas.

- En todo caso, se ha de decidir y configurar el conjunto de fuentes que iluminarán la escena de manera adecuada a los fines expresivos que se persiguen, es

decir, se puede buscar mucho contraste o iluminación más uniforme, tonos suaves o la saturación del color y, también, una temperatura de color u otra característica que deba perdurar para la grabación de la secuencia, y en muchos casos que caracterice toda la dirección de fotografía a lo largo de toda la filmación.

En cuanto a los equipamientos más usuales para registrar el sonido, son los habituales para la captación y el tratamiento en cualquier produccion profesional de audio, tal como ya hemos estudiado en el epígrafe correspondiente, con la única particularidad de que utilizan adaptadores y conexionado específico para los equipos de producción audiovisual, pudiéndose encontrar en el mercado en diferentes configuraciones para cada aplicación particular.




Ilustración 78. Accesorios de sonido

A título orientativo, la captación y el registro de sonido de manera profesional en cualquier producción audiovisual requiere la elección de equipamientos de calidad adecuada y óptima para su disposición en la escena a grabar en función de las fuentes sonoras que se quieran registrar. La elección de la direccionalidad de los micrófonos y su colocación resultan fundamentales para la captura adecuada del sonido. Su grabación se suele hacer en equipos específicos de sonido auxiliar para luego sincronizarlo con la imagen en postproducción, aunque en algunas producciones se puede utilizar la propia cámara para su registro junto a la imagen. En todo caso, y en última instancia, el registro profesional de sonido debe realizarse de manera que cada fuente resulte audible e inteligible, es decir, que su intensidad se sitúe en

un rango dinámico adecuado y la grabación esté libre de ruidos u otras distorsiones que impidan su adecuada escucha. La adecuación de la mezcla y sincronización final con la imagen se realizan en postproducción, pero es imprescindible que la señal registrada tenga una calidad adecuada.

### 3.3.4. La edición y distribución de vídeo. Final Cut X y Compressor

Una vez registradas las imágenes se ha de proceder a su edición o montaje, es decir, a su ordenación secuencial en función de los intereses narrativos y expresivos que se persiguen.

Tal como podemos observar, los actuales sistemas en red permiten el trabajo en grupo y aumentan la productividad de manera notable, facilitando además multitud de operaciones de edición y tratamiento de imagen que resultaban muy poco factibles en los sistemas analógicos tradicionales. La salida del sistema de edición permite la grabación en múltiples formatos, incluidos los clásicos de cinta u otras modalidades de distribución como, por ejemplo, *webcast* o IPTV, en función de las prestaciones del sistema y, cómo no, su coste.

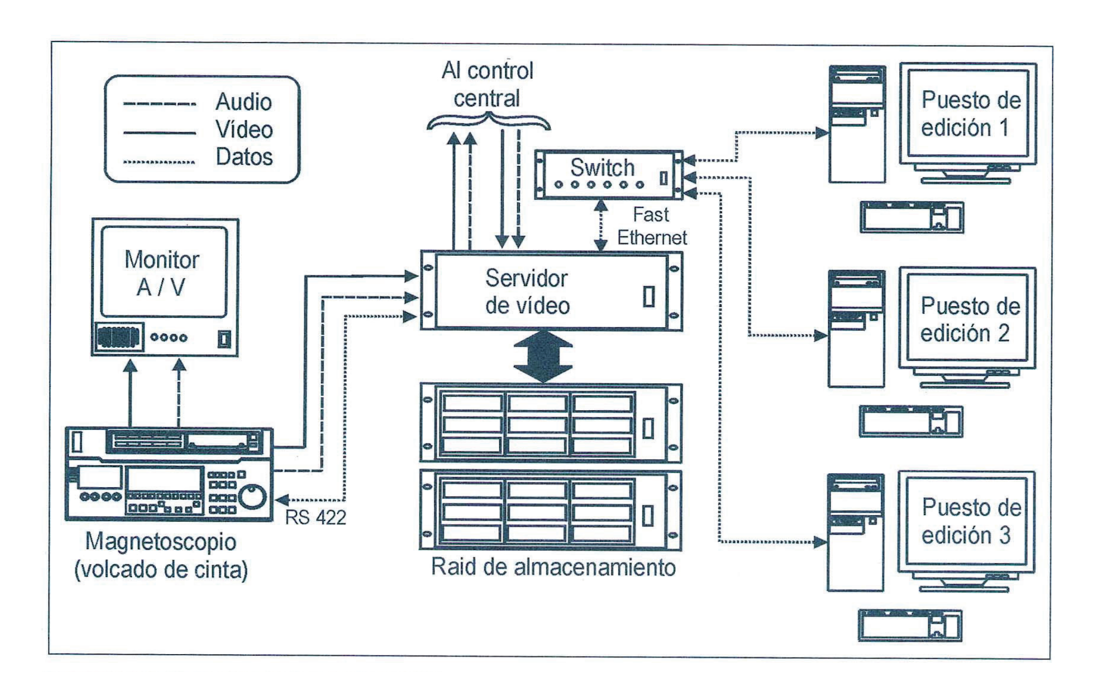



Ilustración 79. Sistema digital basado en servidor

Entre los programas informáticos de edición más populares se encuentra Final Cut que junto a Avid y, en menor medida, Premiere, dominan el mercado de la edición profesional de vídeo. Este es el aspecto que ofrece la interfaz del programa, aunque puede ser configurado con gran flexibilidad en función del tipo de edición a realizar.




Ilustración 80. Espacio de trabajo del programa Final Cut X

En la parte superior izquierda podemos observar los clips originales grabados de cámara y la derecha de la pantalla nos muestra el resultado final; debajo, la línea de tiempos con la secuencia de clips incluidos en la edición. Final Cut X soporta la mayoría de formatos de vídeo existentes y dispone de herramientas avanzadas para la edición, tratamiento del color, adecuación del sonido e infinidad de efectos que permiten una edición de calidad.

Final Cut X funciona de similar manera a la mayoría de los editores de vídeo en el mercado, es decir, cada edición se considera un proyecto en el cual se incluyen las grabaciones de cámara, llamadas *clips*, que son archivos informáticos accesibles en un ordenador. El proyecto se define por parámetros relativos al formato de trabajo e incluye una línea de tiempo, en la que se van insertando las partes de cada clip en el orden decidido conformando una secuencia final como resultado.

En cuanto a la edición de audio, enlaza perfectamente con *software* específico para el tratamiento profesional de sonido como LogicPro, ya comentado en otros capítulos, pero también dispone de herramientas para trabajar con sonido multipista, de manera que ofrece multitud de prestaciones y resulta muy eficiente.




Ilustración 81. Audio multicanal en Final Cut X

Final Cut X, además, se integra perfectamente con otras herramientas accesorias como Motion, especialmente diseñado para la elaboración de efectos complejos en 2D y 3D, e incluye Compressor, y permite la distribución de los archivos editados en múltiples formatos como MPEG-2, H.264, QuickTime y MXF, o ProRes, así como otros para la transmisión en directo HTTP, o mezclas de audio surround al formato Dolby Digital Professional AC-3.

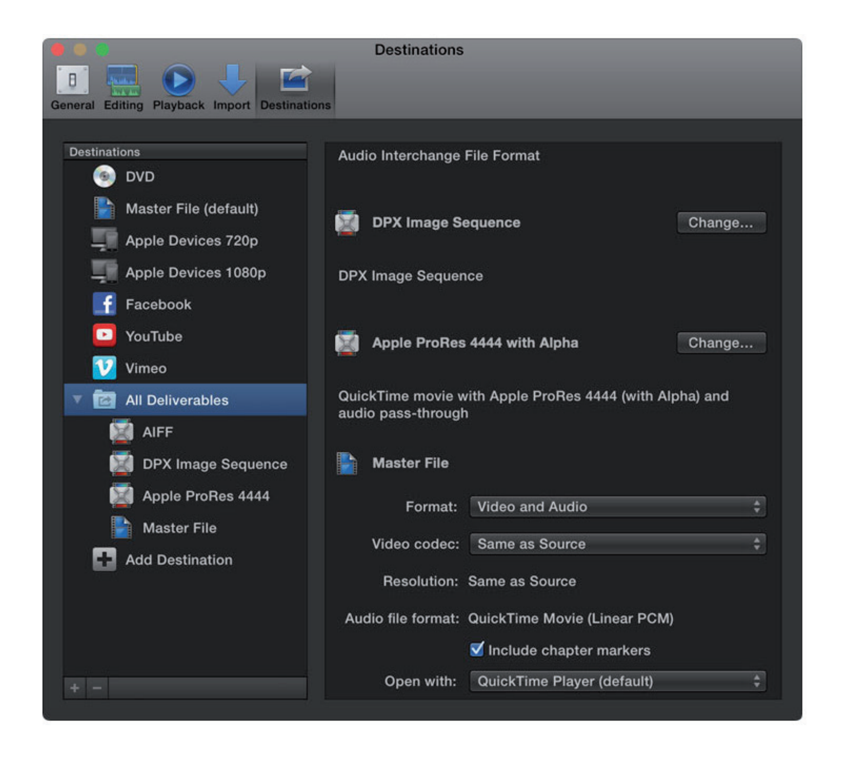
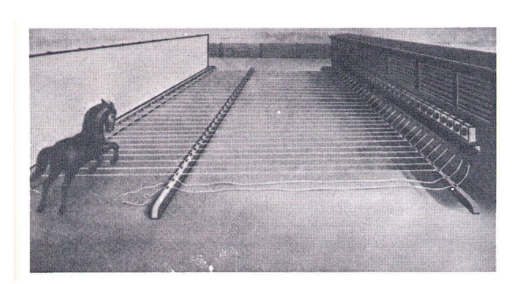



Ilustración 82. Compressor

## 3.4. La señal de vídeo. La televisión

Tal como vimos cuando describíamos en temas anteriores la estrategias cognitivas que utilizamos para percibir el movimiento, basta con que un determinado número de imágenes fijas se presente en nuestra retina con una cadencia suficiente para que percibamos la ilusión de movimiento.

Los primeros artilugios que permitían la reconstrucción del movimiento utilizaban esta característica y eran expuestos en ferias y espectáculos para regocijo de los públicos. Entre ellos, el sistema ideado por Eadweard Muybridge para descomponer el movimiento de un caballo utilizando una serie de cámaras que registraban fotografías sucesivas a medida que el equino activaba los cables conectados al disparador, como vemos a continuación:



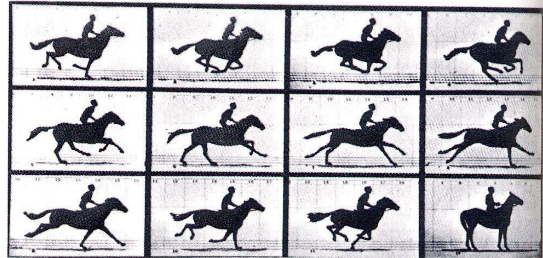


Ilustración 83. *El galope de la yegua Sallie Gardner*, Muybridge, 1978 (M.-L. Sougez)

Muybridge era un vagabundo y fotógrafo que fue contratado en 1872 por el gobernador para ayudarle a ganar una apuesta de 25.000 dólares: apostó con un amigo que el caballo al galope llegaba a tener las cuatro patas en el aire. En 1877 Muybridge colocó 24 cámaras en fila y ató un cable a cada una de ellas: el experimento le costó 40.000 dólares pero el gobernador ganó sus 25.000 y su invento inició el desarrollo de la *cinematografía*, es decir, la fotografía cinemática o en movimiento.

Sin embargo, como contábamos en el capítulo anterior, en la misma época ya se estaba experimentado con las propiedades del selenio, que variaba su resistencia a la corriente eléctrica cuando era expuesto a la luz; poco antes, en 1876, Graham Bell conseguía transmitir a distancia informaciones complejas mediante el telégrafo, iniciando, de este modo, la investigación en tecnologías que fuesen capaces de registrar imágenes mediante electricidad y transmitirlas a distancia, es decir, tecnologías que permitiesen la *televisión*, la visión a distancia.

Para registrar eléctricamente las imágenes se establecieron dos estrategias. La primera de ellas, diseñando mosaicos o matrices de células de selenio que ya hemos explicado y que darían lugar unas décadas después a los modernos sensores CMOS, gracias al desarrollo de la microelectrónica que hace posible la integración de las células a niveles microscópicos y a la utilización de nuevos materiales semiconductores por entonces todavía poco eficientes. Y la segunda, y la que se adoptó para la elaboración de imágenes para televisión, fue la desarrollada en 1884 por Nipkow, que se impuso debido a las dificultades técnicas que había entonces para

la construcción de equipos con sensores en forma de matriz que fuesen comercializables.

El sistema de Nipkow consistía en un equipo mecanicoeléctrico que exploraba la imagen de manera secuencial, punto a punto y línea a línea, de arriba a abajo y de izquierda a derecha, y permitía a través de un solo cable transmitirla a otro equipo sincronizado que transformaba esa electricidad en luminosidad y permitía reproducir la imagen a distancia.

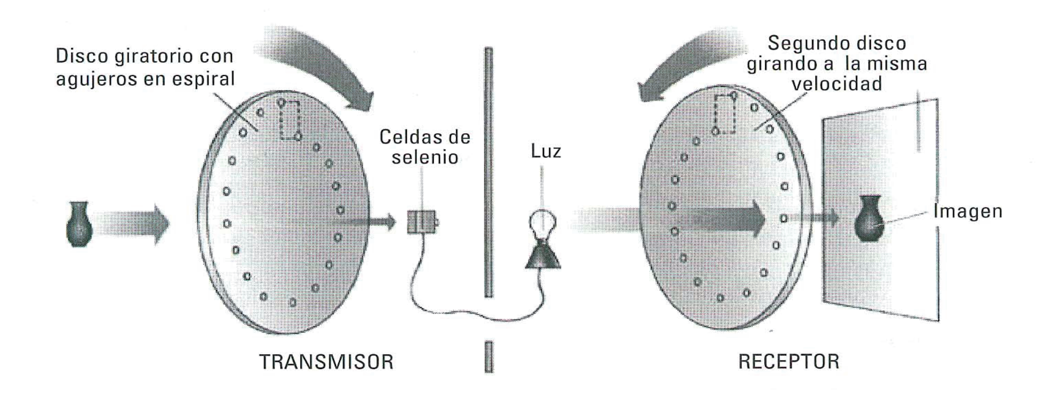



Ilustración 84. Sistema mecánico de TV de Nipkow, 1884 (Pérez y Zamanillo)

Después de perfeccionar el sistema y hacerlo apto para la construcción de equipos de captación y reproducción, fue adoptado por la BBC y así comenzó el desarrollo de la tecnología de transmisión de imágenes en movimiento a distancia y la industria de la televisión. En 1932, en Inglaterra, había ya alrededor de 10.000 televisores en los hogares que utilizaban esta tecnología.

El registro de imágenes con métodos electrónicos está, como vemos, muy ligado al desarrollo de la televisión desde sus inicios, pues no se pretendía tanto el almacenamiento de las imágenes, que hasta la década de los 50 se hacía exclusivamente en soportes fotográficos basados en las propiedades de la plata, como su transmisión a distancia, de manera que los equipos de captura y reproducción se desarrollaban como sistemas de televisión integral.

En este sentido, el desarrollo de los equipos de imagen electrónica estaba condicionado –además de por las propias dificultades inherentes a la construcción de equipos que acababan por resultar muy voluminosos y de dificil operación, dado el escaso desarrollo de la microelectrónica en la época– por las limitaciones técnicas propias que imponía la transmisión de imágenes a distancia. En estudio y mediante cables la transmisión no resultaba especialmente compleja ya que los materiales conductores permitían transportar el flujo de datos de la imagen de manera adecuada, pero cuando se transmitía a distancia utilizando –como ya vimos en el tema anterior para la radio– el espectro electromagnético, la ingente cantidad de datos que se necesitaban transmitir complicaba mucho el sistema de televisión. Para una imagen capturada electrónicamente o para el sonido, los requerimientos del sistema de transmisión eran perfectamente asumibles, pero para transmitir un determinado

número de imágenes por segundo, un total de 25 en el sistema europeo PAL o 30 en el norteamericano NTSC, el flujo de datos era demasiado grande y hacía inviable el sistema si se quería transmitir imágenes con una resolución aceptable.

Para evitar los problemas que suponía la ingente cantidad de datos a transmitir, los sistemas de televisión comenzaron a utilizar la exploración entrelazada, es decir, se analizaban primero las líneas impares y se transmitía una semiimagen, llamada campo, y luego las pares, transmitiendo así en dos fases la imagen completa y reduciendo la cantidad de información a transmitir cada vez, aprovechando el ya estudiado efecto *phi*, la persistencia retiniana, que permitía durante el proceso de percepción ver la imagen completa sin molestia alguna para el espectador.

Tal como vemos representado en el gráfico siguiente, en cada imagen la línea continua es explorada de izquierda a derecha y de arriba a abajo hasta llegar al extremo en el primer campo o campo impar, y en el segundo o campo par (a la derecha) el resto de la imagen. Las líneas discontinuas representan el movimiento del haz explorador hacia el siguiente punto activo, en trazo más grueso para las líneas y en trazo más débil para el retorno de campo que, como se puede observar, se hace hasta el punto donde empieza la exploración del segundo campo.

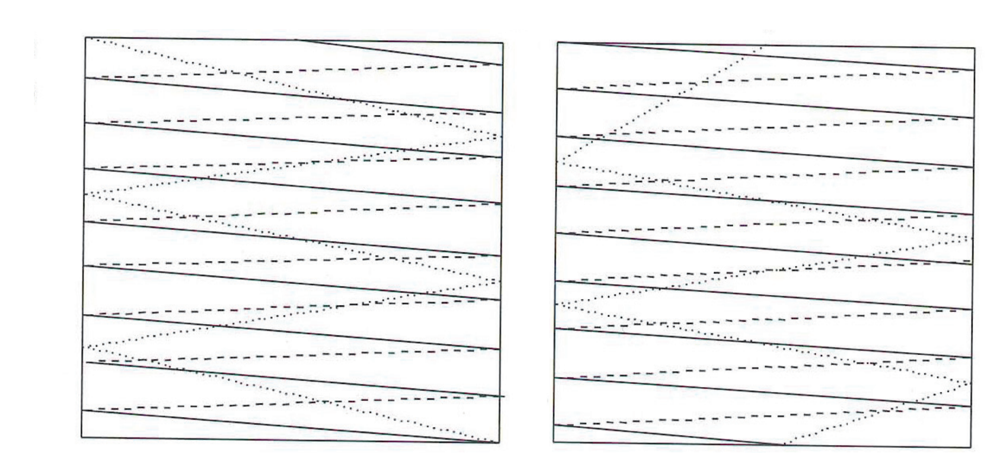


Ilustración 85. Exploración entrelazada de la imagen

El sistema se perfeccionó y se empezaron a desarrollar equipamientos en los que la exploración de la imagen se dirigía electrónicamente, utilizando tubos de cámara sobre un mosaico fotosensible cuya superficie variaba su resistencia en función de la iluminación recibida. Para ello se utilizaba un haz electrónico guiado por bobinas deflectoras que recorría toda la superficie del mosaico y generaba una señal eléctrica cuya amplitud era análoga a la de la luz recibida en cada uno de los puntos explorados.

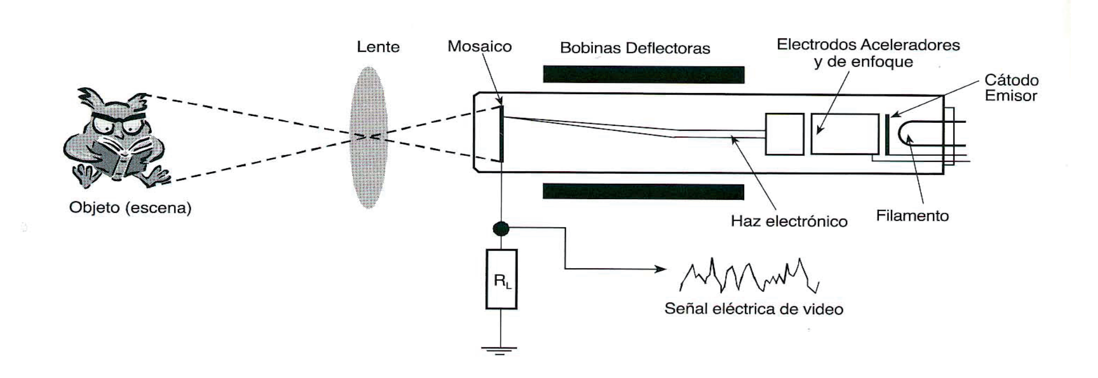



Ilustración 86. Tubos de imagen

De este modo, la señal de vídeo (en formato PAL) se generaba con una estructura similar a la que podemos ver en el siguiente esquema. Esto es, de las 25 imágenes por segundo (50 campos) en un sistema de 625 líneas (720 × 576 píxeles activos) la información se exploraba por cada línea en 52 microsegundos, y luego se reservaba tiempo para llevar el haz explorador al inicio de la siguiente línea, 12 microsegundos, que además servían para que los sistemas receptores, los televisores, se sincronizaran en la reproducción.

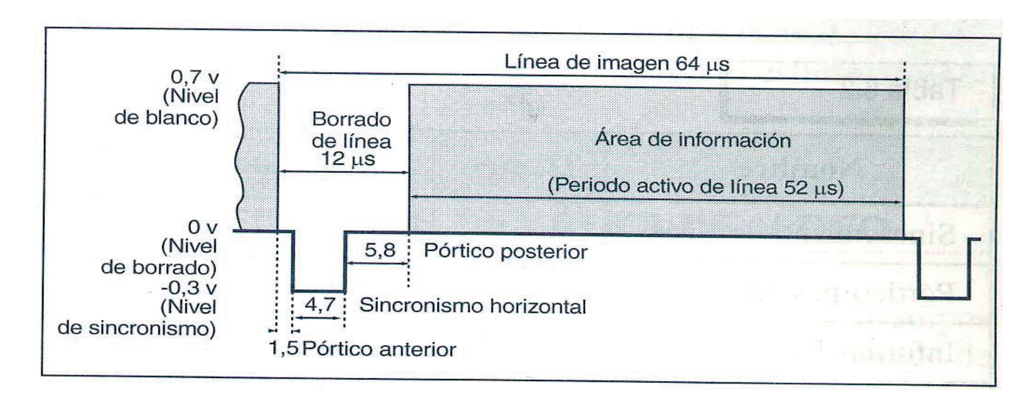



Ilustración 87. Esquema de señal de una línea de TV

De este modo, obtendríamos una imagen blanco y negro. Para los sistemas de captura y reproducción de imágenes electrónicas en color es necesario utilizar mecanismos de descomposición de la imagen en los colores primarios, tal como vemos a continuación, y triplicar el flujo de datos que se han de gestionar, utilizando para ello un bloque de tres sensores para dirigir a cada uno de ellos la información de color correspondiente a RGB.

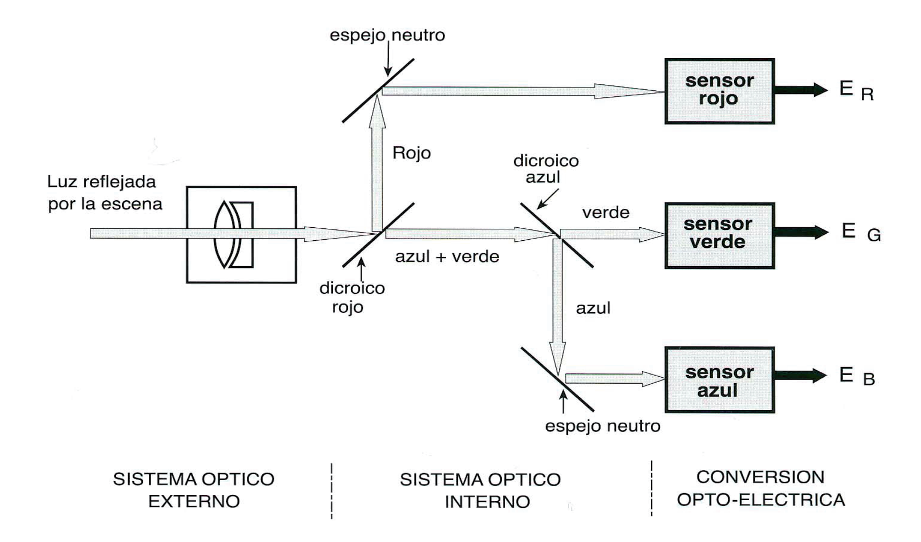



Ilustración 88. Bloque de captura en cámara de color (F. Molero)

Los sistemas de captación actuales ya no utilizan tubos de cámara sino sensores CCD o CMOS como los ya estudiados, que se sitúan estratégicamente en los equipos de captación utilizando prismas dicroicos para la descomposición de la luz en sus colores primarios fundamentales.

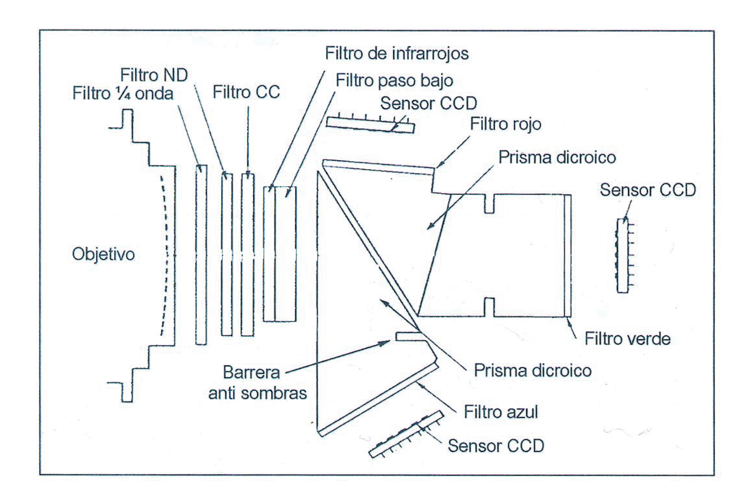



Ilustración 89. Esquema objetivo y CCD

Como se puede observar, el sistema de captura incluye genéricamente filtros infrarrojos, de corrección de color (CC), neutros (ND), de 1/4 de onda y paso bajos, todos necesarios para adecuar la luz a las características de los sensores y para filtrar las radiaciones indeseadas en la entrega de la señal a un circuito electrónico –que podemos ver con detalle en el esquema siguiente–, que será el encargado de codificarla en distintos sistemas de color, proporcionando salidas específicas para que esta pueda ser utilizada en otros equipos.

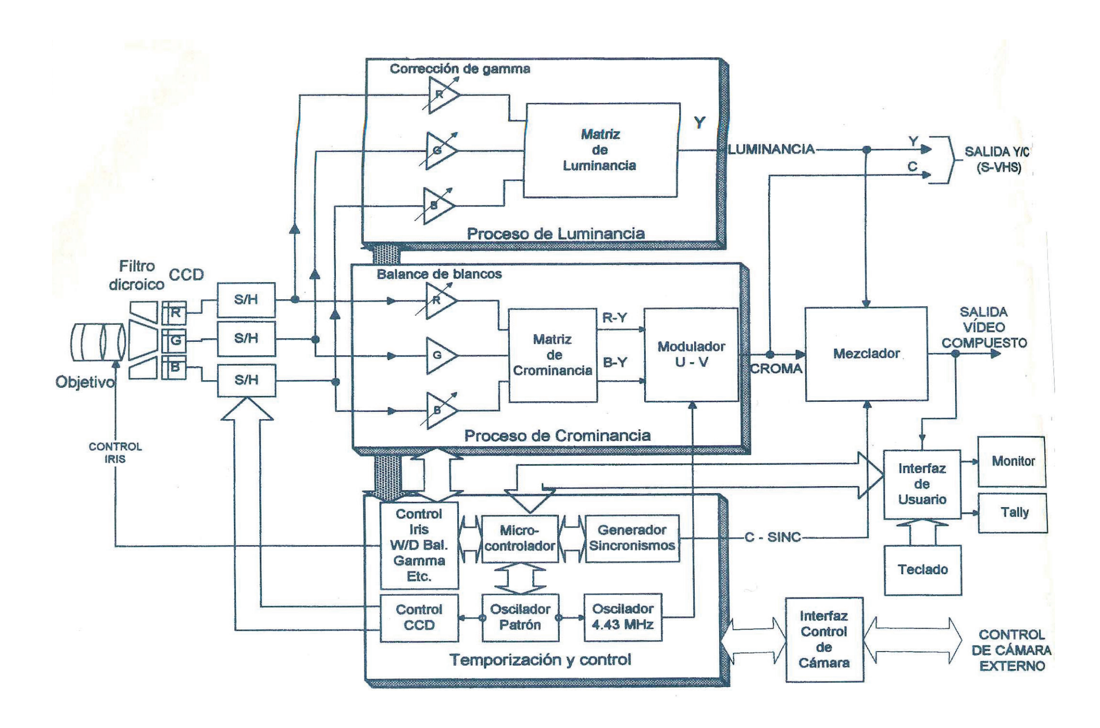



Ilustración 90. Esquema completo de captura imagen en cámara de vídeo (F. Molero)

De este modo, y a posteriori, se puede reconstruir el color sumando las distintas señales componentes, tal como vemos a continuación, en este caso para una codificación Y/C, es decir, aquella que une señal de luminancia (Y) con las de crominancia (C), para obtener la señal completa de color.

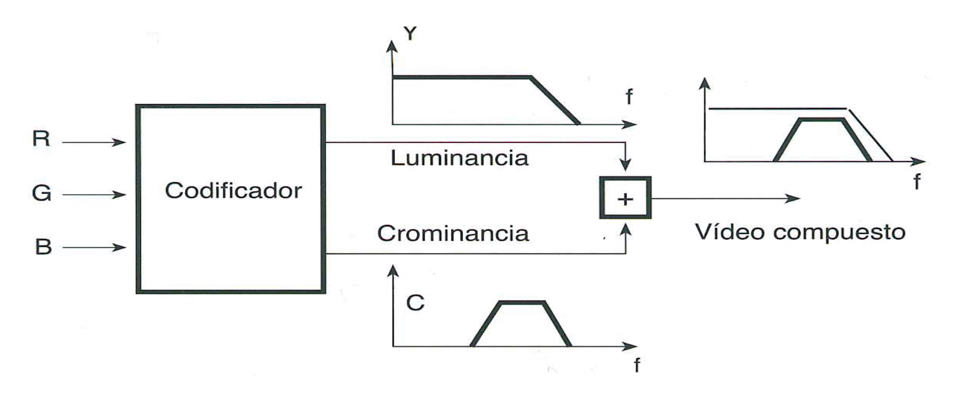



Ilustración 91. Codificación de vídeo compuesto (White)

Es interesante observar en el esquema de más arriba las correcciones electrónicas que se realizan, la primera de ellas de *gamma*, estrechamente relacionada con el contraste de la imagen, y la segunda de *balance de blancos* que, como también vimos en su momento, tiene la función de adecuar el registro en relación al espacio de color del entorno. Las señales que este circuito sirve son de vídeo compuesto, PAL, e Y/C, aunque los sistemas de cámara pueden tener algunas otras, entre ellas vídeo separado o RGB, haciéndolas disponibles para su uso externo a través de conectores específicos en la cámara.

En el otro extremo del sistema de televisión encontramos los equipos que realizan la codificación inversa, es decir, reciben la señal de vídeo para convertirla en imágenes, y para ello se utilizan pantallas de diversas tecnologías en un sistema como el que vemos a continuación, en este caso para un receptor clásico de tubo de rayos catódicos TCR, hoy ya sustituido por otras tecnologías como *led*.

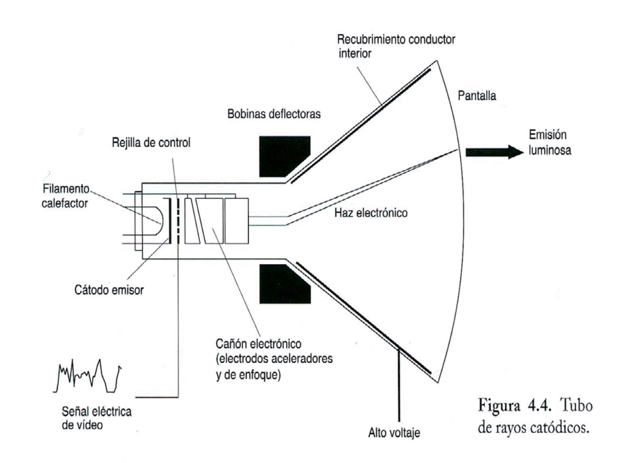



Ilustración 92. Funcionamiento TCR en captación y recepción de TV (Pérez y Zamanillo)

Como vemos a continuación, un sistema cualquiera de televisión consiste, de manera muy esquemática, en un proceso de captura y recepción mediado por un mecanismo de codificación y transmisión.

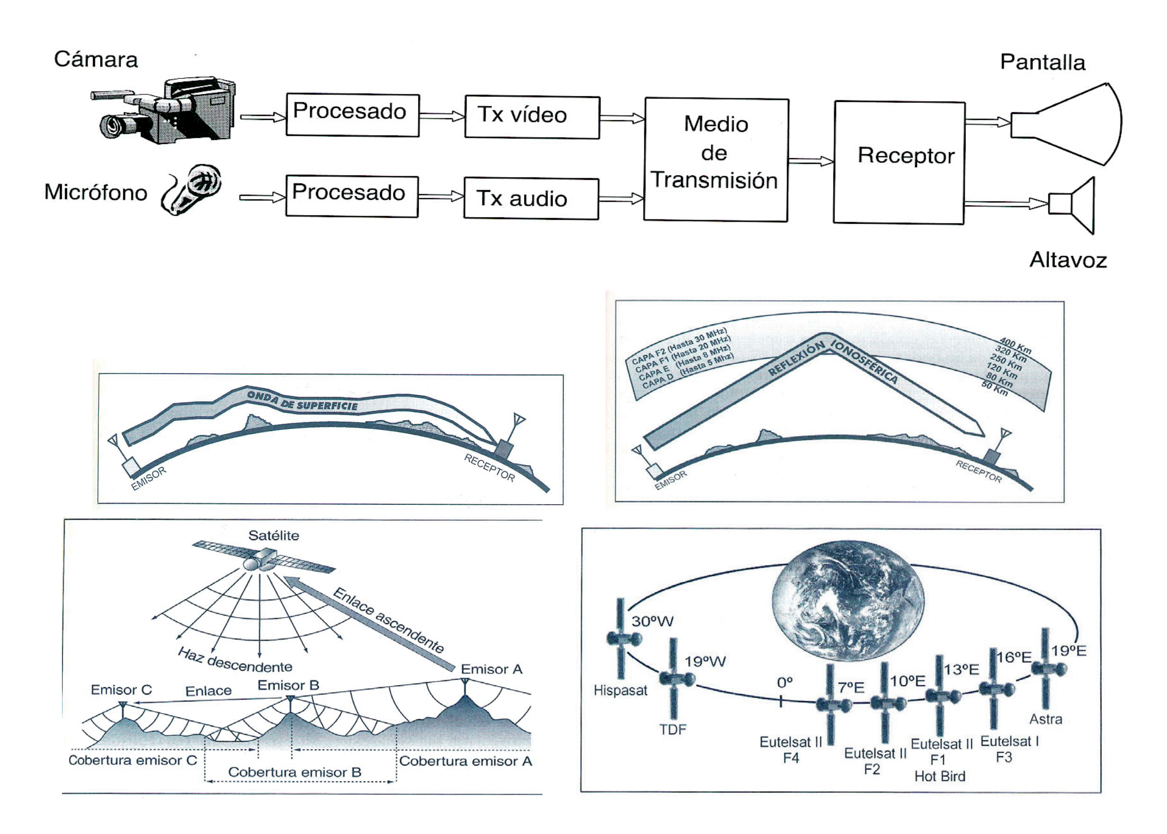



Ilustración 93. Sistemas de transmisión de TV (E. Félix)

Actualmente, la televisión se transmite con tecnología digital, utilizando diferentes sistemas de codificación y diferentes medios para su transmisión, tal como vemos en el gráfico anterior, por ondas vía terrestre o satélite, pero también por cable o internet y otras tecnologías audiovisuales que ya estudiaremos con profundidad en cursos sucesivos.

# Bibliografía básica

Brown, B. (2012): *Iluminación para cine y vídeo (*2.ª edición). Andoain. Escuela de Cine y Vídeo.

Cuenca, I. y Gómez, E. (2005): *Tecnología básica del sonido I*. Madrid. Paraninfo.

— (2006): *Tecnología básica del sonido II*. Madrid: Paraninfo.

Félix Molero, E. (2006): *Sistemas de radio y televisión*. Madrid. McGraw-Hill.

Llorens, V. (2004): *Fundamentos tecnológicos de vídeo y televisión*. Barcelona. Paidós.

Martínez Abadía, J. y Vila Fumás, P. (2009): *Manual básico de tecnología audiovisual y técnicas de creación, emisión y difusión de contenidos*. Barcelona. Paidós.

# Bibliografía complementaria

Alten, S. R. (2008): *El manual del audio en los medios de comunicación*. Andoain (Guipúzcoa). Escuela de Cine y Vídeo.

Barroso, J. (2008): *Realización audiovisual.* Madrid. Síntesis.

Beach, A. (2009): *Técnicas de compresión de vídeo*. Madrid. Anaya.

Bestard Luciano, M. (2011): *Realización audiovisual*. Barcelona. uoc.

Browne, S. (2007): *Postproducción de Alta Definición*. Andoain, Escuela de Cine y Vídeo.

Carrasco, J. (2010): *Cine y televisión digital. Manual técnico*. Barcelona. Universitat de Barcelona.

Castillo Pomeda, J. M. (2010): *Televisión, realización y lenguaje audiovisual*. Madrid. iortv.

Espinosa, N. (2012): *Fonaments i usos de tecnologia audiovisual digital*. Barcelona. uoc.

Lancaster, K. (2011): *Cine dslr*. Madrid. Anaya.

Luque, R. y Domínguez, J. J. (2011): *Tecnología digital y realidad virtual*. Madrid. Fragua.

Marzal Felici, J. y López Cantos, F. (2008): *Teoría y técnica de la producción audiovisual*. Valencia. Tirant lo Blanch.

Mattelart, A. (1998): *La mundialización de la comunicación*. Barcelona. Paidós.

McLuhan, M. (1996): *Comprender los medios de comunicación*. Barcelona. Paidós.

Millerson, G. (2009): *Realización y producción en televisión* (4.ª edición). Madrid. iortv.

Morales Morante, F. (2013): *Montaje audiovisual. Teoría, técnica y métodos de control*. Barcelona. uoc.

Peñafiel, C. y López, N. (2000): *Tecnología de la televisión. Del disco de Nipkow a la revolución numérica*. Zarautz (Guipúzcoa). upv.

Rajas, M. y Álvarez, S. (2013): *Tecnologías audiovisuales en la era digital*. Madrid. Fragua.

Rodero, E. (2011): *Creación de programas de radio*. Madrid. Síntesis.

Rumsey, F. y McCormick, T. (2004): *Sonido y grabación. Introducción a las técnicas sonoras*. Madrid. iortv.
Sierra Sánchez, J. y García García, F. (2014): *Tecnología y narrativa audiovisual*. Madrid. Fragua.
Simpson, R. S. (2004): *Control de la iluminación. Tecnología y aplicaciones.* Andoain. Escuela de Cine y Vídeo.
Wheeler, P. (2008): *Cinematografía en alta definición*. Barcelona. Omega.